



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Análisis de las situaciones de intrusión norteafricana en los niveles de calidad del aire en la región de Murcia

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL.

Autor: Francisco Javier Rodríguez Carrasco

Director: Stella Moreno Grau

Codirector: Jose María Moreno Grau

Isabel Costa Gómez



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Cartagena a 10 de diciembre de 2020

Contenido

1. Introducción.....	3
2. Objetivos	4
3. Antecedentes bibliográficos.....	5
3.1 Introducción al material particulado.....	5
3.2 Formación del material particulado	8
3.3 Elementos frecuentes y fuentes de emisión de partículas.....	11
3.4 Efectos sobre la salud.....	15
3.5 Intrusiones de masas de aire africanas	17
3.6 Metodología para aislar la contribución de episodios naturales.....	19
3.7 Marco normativo sobre el material particulado.....	24
4. Materiales y métodos.....	30
4.1 Red de Vigilancia Atmosférica utilizados.....	30
4.2 Análisis estadístico de los niveles de material particulado.....	34
4.3 Método percentil 40 móvil 15/30.....	43
5. Resultados y discusión.....	47
5.1 Gráficas y resúmenes numéricos del método percentil 40 móvil 15/30 en las diferentes estaciones.....	47
5.2 Análisis espacial del efecto de las intrusiones sobre la calidad del aire en la región de Murcia.....	72
6. Conclusiones.....	74
7. Bibliografía.....	76
ANEXO I: ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA	80
Datos de PM10 procedentes de Alcantarilla.....	81
Datos de PM10 procedentes de Lorca	85
Datos de PM10 procedentes de San Basilio	89
Datos de PM10 procedentes de La Aljorra	93
Datos de PM10 procedentes de Alumbres.....	97
Datos de PM10 procedentes de Mompean	101
Datos de PM10 procedentes de Valle de Escombreras.....	105
Datos de PM10 procedentes de Caravaca	109
ANEXO II: ANÁLISIS MEDIANTE SERIES TEMPORALES	113
Estimación de las medidas de PM10 sin contribución de PM10 africano	115
Estimación de datos futuros a partir de series temporales.....	120

1. Introducción

Debido a la importancia actual de la contaminación atmosférica y sus efectos sobre el medio ambiente y la salud de las personas, se hace necesario estudiar, analizar y controlar las diversas variantes de la polución en la atmósfera.

Un requisito indispensable para hacer esto, consiste en hacer estudios específicos, separando los diversos contaminantes en diferentes categorías con características muy específicas y analizándolas separadamente. La razón se debe a que las consecuencias de un tipo de contaminación u otra producen efectos muy diferentes: por ejemplo, el CO₂ tiene un impacto muy notorio en el efecto invernadero, pero no tiene un impacto directo sobre la capa de ozono; algunos anhídridos pueden tener un índice GWP (Global Warming Potencial) muy bajo, pero una alta participación en la presencia de lluvia ácida; los silicatos en suspensión pueden tener un efecto dañino en el sistema respiratorio de los seres vivos, pero sólo si se encuentran en un rango de tamaños muy concreto, fuera de este, son inocuos.

Debido a ello, este documento, se centra en un estudio muy concreto de un tipo de contaminación atmosférica, concretamente en la del material particulado PM₁₀ en la región de Murcia, intentando analizar estadísticamente sus concentraciones y buscando mediante herramientas matemáticas, aislar la contribución natural debido a episodios de intrusión de polvo subafricano de la aportación antropogénica.

Poder separar la contribución de material particulado debido a episodios de intrusión de polvo subafricano a partir de los niveles totales medidos de material particulado es importante desde el punto de vista del control y la regulación, así como la investigación de posibles causas de su formación y focos.

2. Objetivos

Los objetivos del presente documento son varios: por un lado, el estudio de la situación del material particulado, concretamente del PM10 en la región de Murcia, en el periodo comprendido entre los años 2010 y 2019 (ambos incluidos), a partir de los datos proporcionados por las estaciones de medición de Mompean, Lorca, San Basilio Aljorra, Alcantarilla, Alumbres, Caravaca y Valle de Escombreras. Todas estas estaciones se encuentran dispersadas por toda la región, en zonas de actividad urbana o industrial y su estudio permitirá comprender mejor la situación de la región y su evolución con el tiempo, así como el cumplimiento de la normativa derivada del Real Decreto 102/2011 (concretamente en cuanto a los valores límite de superación) y las expectativas a cumplir las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud en cuanto a niveles de PM10. Ello comprende el seguimiento y recopilación de los datos, el estudio mediante resúmenes estadísticos y la obtención de conclusiones.

Por otro lado, se busca el estudio de la bibliografía referente a los métodos estadísticos para aislar la contribución de PM10, su análisis y realización con los datos obtenidos a partir de las estaciones de medición mencionadas anteriormente en los años 2018 y 2019. Por lo tanto, a partir de los artículos publicados M. Escudero¹ y X. Querol², fundamentales en la directiva 1999/30/EC y su posterior transposición al Real Decreto 102/2011, utilizando las herramientas informáticas Excel, Matlab y Rcommander, se espera poder realizar una serie de códigos ejecutables que permitan aislar las contribuciones de PM10 debido a episodios de intrusión de polvo africano. Esto, tiene una gran importancia, no solo a nivel de cumplimiento de requisitos de la regulación vigente, sino el estudio de la influencia del material particulado de origen africano (la mayor fuente de producción de material particulado natural a escala global³), sobre una zona relativamente próxima a esta como es la región de Murcia.

¹ M Escudero et al., «A Methodology for the Quantification of the Net African Dust Load in Air Quality Monitoring Networks», *Atmospheric Environment*, 2007, 9.

² X Querol et al., «African Dust Influence on Ambient PM Levels in South-Western Europe (Spain and Portugal): A Quantitative Approach to Support Implementation of Air Quality Directives», *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 7 (1 de marzo de 2009): 012018, <https://doi.org/10.1088/1755-1307/7/1/012018>.

³ Massimo Stafoggia et al., «Desert Dust Outbreaks in Southern Europe: Contribution to Daily PM₁₀ Concentrations and Short-Term Associations with Mortality and Hospital Admissions», *Environmental Health Perspectives* 124, n.º 4 (abril de 2016): 413-19, <https://doi.org/10.1289/ehp.1409164>.

3. Antecedentes bibliográficos

3.1 Introducción al material particulado

PM hace referencia al material particulado (PM en inglés: Particulate Matter), y se denomina así a la mezcla de partículas (exceptuando aquellas formadas por agua) que se encuentran en suspensión en el aire y pueden estar en estado sólido o líquido. A pesar de que en algunos casos tenga un origen natural, es considerado un tipo de contaminación y no tiene una composición estándar, ya que puede estar formado por un gran número de compuestos químicos⁴: ácidos, sales salinas, amoníaco, metales, compuestos orgánicos, partículas de polvo... tanto por sustancias orgánicas e inorgánicas, y son consideradas una forma de contaminación del aire. Las partículas pueden reaccionar posteriormente en el aire y colaboran en la formación de brumas, humos y polvos en suspensión.

Aunque el rango de tamaños del material particulado varía bastante en función de la composición, se clasifica en dos categorías principales: PM10 como el material particulado cuyo diámetro característico es menor a 10µm y PM2.5, cuyo diámetro característico es menor a 2.5 µm ⁵. Es normal también en la literatura científica encontrar el término de partículas gruesas (en inglés “coarse particles”), que hace referencia a las partículas cuyo diámetro característico es superior a los 2.5 µm; partículas finas (en inglés “fine particles”), cuyo diámetro es menor a los 2.5 µm y dentro de esta categoría aparecen las partículas ultrafinas (en inglés “ultrafine particles”), cuyo diámetro característico es menor a los 0.1 µm ⁶.

⁴ Frank J. Kelly y Julia C. Fussell, «Size, Source and Chemical Composition as Determinants of Toxicity Attributable to Ambient Particulate Matter», *Atmospheric Environment* 60 (diciembre de 2012): 504-26, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.06.039>.

⁵ «Material particulado», Instituto para la Salud Geoambiental, 23 de septiembre de 2013, <https://www.saludgeoambiental.org/material-particulado>.

⁶ «The Georgia Basin-Puget Sound Airshed Characterization Report 2014: chapter 8 - Canada.ca», <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/air-pollution/publications/georgia-basin-puget-sound-report-2014/chapter-8.html>.

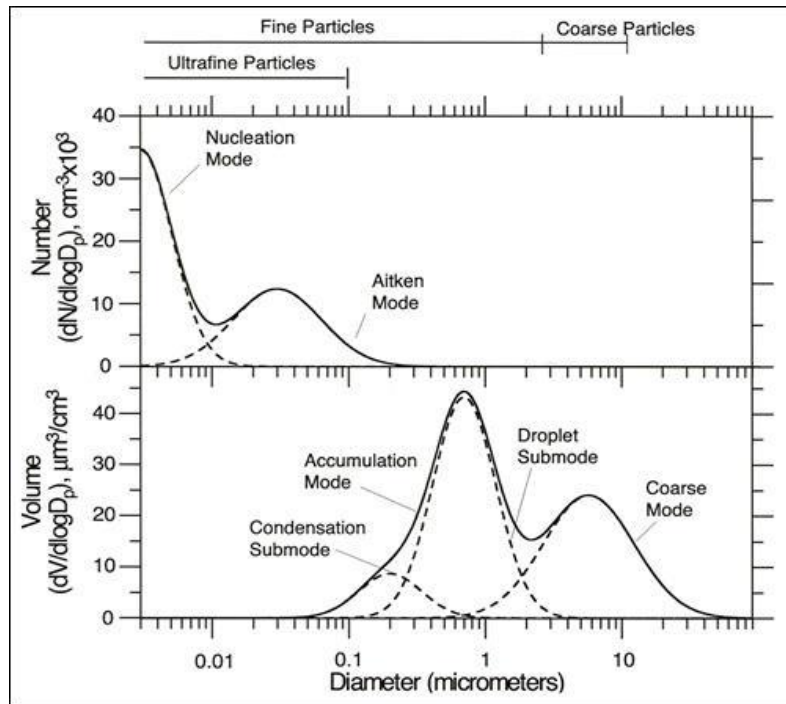


Fig. 1.- Número y volumen ocupado por el material particulado en función de su diámetro característico (fuente de la imagen: NARSTO⁷, 2004).

Las partículas finas son las más dañinas, debido que a que al ser inhaladas, podrían llegar hasta las zonas periféricas de los bronquiolos y dar lugar a alteraciones en el intercambio pulmonar de gases⁸.

En la Fig 1 se puede ver el número y la concentración másica por unidad de volumen en función del diámetro característico. A pesar de que por frecuencia de aparición (número de muestras) de las partículas ultrafinas sean las predominantes, debido a su pequeño tamaño, en términos de volumen su presencia es insignificante respecto a las partículas finas o partículas gruesas. Téngase en cuenta que la Fig 1 no representa un comportamiento absoluto universal.

En ciertas ocasiones, cuando se habla de material particulado (PM), se utilizan los términos APM (Atmospheric Particulate Matter - Material Particulado Atmosférico) y SPM (Setteable Particulate Matter - Material Particulado Sedimentable). El APM incluye un rango mayor de tamaño (entre los 0.002 y los 100μm de diámetro)⁹. El SPM o polvo grueso es aquella

⁷ NARSTO, 2004. Particulate Matter Science for Policy Makers: A NARSTO Assessment. P. McMurry, M. Shepherd, and J. Vickery, eds. Cambridge University Press, Cambridge England. ISBN 0 52 184287 5.

⁸ Consejería de Salud Región de Murcia, «Murciasalud. Contaminantes del aire: Materias particuladas», <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=244308&idsec=1573>.

⁹ «Material particulado atmosférico» (CMA), <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/porta/web/menuitem.7e1cf46ddf59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnnextoid=bd9a6b23d642c310VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=e339a862d17d4310VgnVCM2000000624e50aRCRD>.

fracción del material particulado, que se capta en una unidad de superficie específica, durante una cantidad de tiempo específica¹⁰.

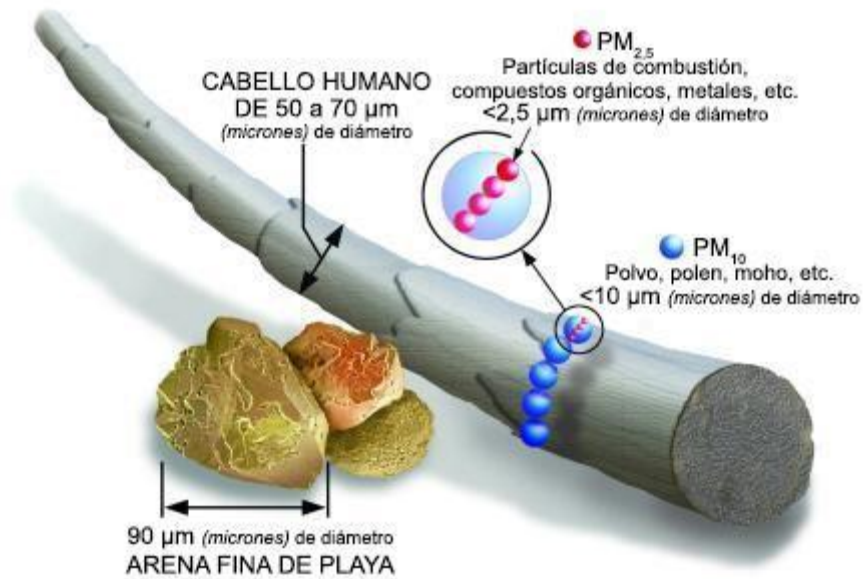


Fig. 2.- Imagen orientativa sobre los tamaños de PM₁₀ y PM_{2.5} (fuente de la imagen: US EPA¹¹).

¹⁰ «Ediciones Especiales - El Mercurio», <http://www.edicionesespeciales.elmercurio.com/destacadas/detalle/index.asp?idnoticia=201506251942530>.

¹¹ «US EPA», US EPA, U.S. Environmental Protection Agency <https://www.epa.gov/>.

3.2 Formación del material particulado

La formación del material particulado (dentro del cual se engloba el PM10), puede ser primario o secundario¹²:

+ Primario: el material particulado se emite como tal a la atmósfera, lo cual, puede venir dado por un proceso artificial (procesos de combustión, construcción, desgaste de neumáticos y frenos...) o natural (partículas marinas, polvo, pólenes, esporas...).

+Secundario: éste se produce en la atmósfera como producto de reacciones químicas (SO₂, NO_x, NH₃, compuestos orgánicos volátiles...). Esto a su vez, permite clasificar la formación de partículas secundarias en dos grupos: el formado por componentes secundarios inorgánicos y el formado por componentes secundarios orgánicos (principalmente a partir de COVs, Compuestos Orgánicos Volátiles).

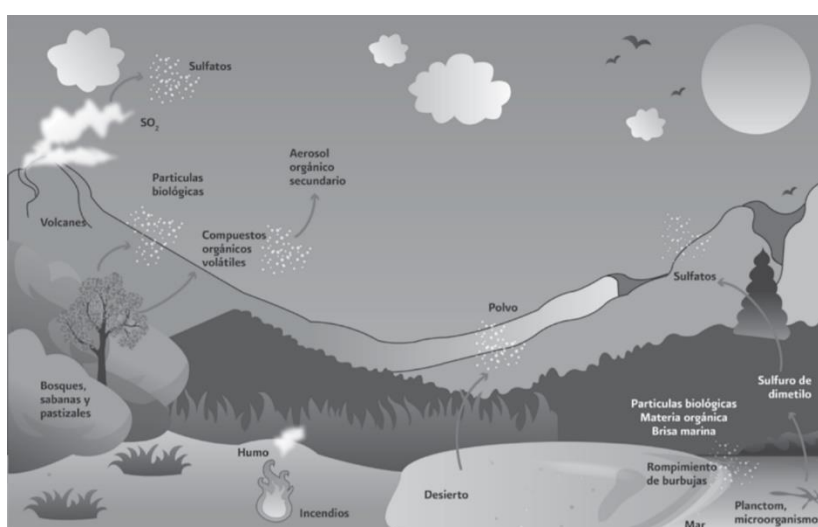


Fig. 3.- Ejemplos de formación de material particulado de origen natural (fuente de la imagen: INECC¹³).

En los PM_{2.5}, cabe destacar los sulfatos y nitratos de amonio ((NH₄)₂SO₄ y NH₄NO₃), formados a partir de las emisiones de SO₂, NO_x y NH₃, ya que estos en algunos casos representan en torno al 30-40% de los componentes inorgánicos secundarios¹⁰. Otros compuestos principales provienen del carbón, sílices y sodio.

En los gases orgánicos antropogénicos se encuentran los hidrocarburos debido a la evaporación de combustibles, tráfico rodado, procesos de combustión y otras actividades relacionadas con la industria. También se pueden encontrar en menor proporción COVs de origen vegetal, tales como la formación de isoprenos en los bosques caducifolios¹⁴, aunque

¹² «Partículas en suspensión», <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/particulas.aspx>.

¹³ «Estudio sobre el material particulado.pdf», <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/695/queson.pdf>.

¹⁴ «Análisis Calidad Aire España 2001-2012 Tcm7 311112 | La Contaminación Del Aire | Hidrocarburo Aromático Policíclico», Scribd, <https://es.scribd.com/document/375629687/Analisis-Calidad-Aire-Espana-2001-2012-Tcm7-311112>.

en general algunos estudios sugieren que a gran escala la presencia de bosques en torno a zonas urbanas no tiene una aportación significativa (ni positiva ni negativa)¹⁵.

El material particulado tiende a tener un tamaño y una composición química determinados asociados a cada fuente de emisión, de ahí que algunas conclusiones no tengan un carácter universal. Por lo general las partículas gruesas tienen un origen primario y suelen provenir de procesos mecánicos y de evaporación. Algunas de las fuentes principales de este tipo de material particulado son los aerosoles marinos, los aportes minerales procedentes de la erosión, las partículas de origen biológico y las partículas primarias derivadas del tráfico o de procesos industriales¹⁶. Como ejemplificación de PM10 de origen secundario, se pueden encontrar algunos nitratos (aunque esto puede depender de los iones con los que se combinen), ya que su distribución granulométrica se extiende desde los 1 μm a los 10 μm .

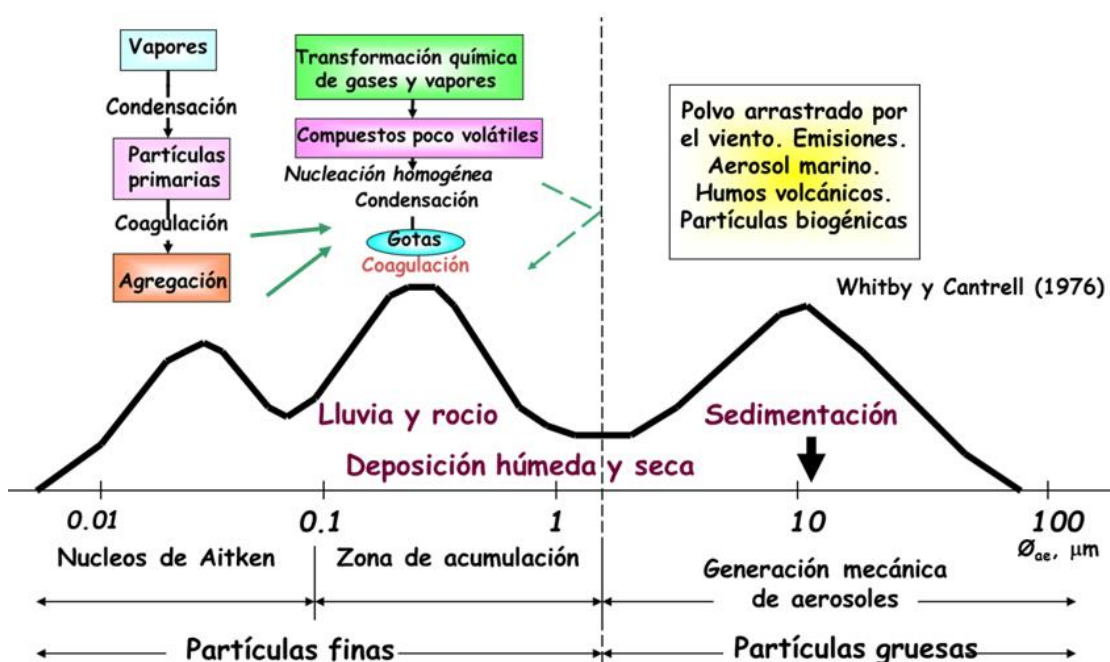


Fig. 4.- Tamaño característico en función del proceso de formación del material particulado (fuente de la imagen: Stella Moreno Grau y Jose María Moreno Grau).

Las partículas finas, sin embargo, están principalmente formadas por partículas de origen secundario, ya que tamaños tan reducidos muy difícilmente se obtienen mediante procesos mecánicos u otro tipo de proceso físico. Por lo general, el proceso de formación es a partir de un precursor químico que pasa a la atmósfera en estado gaseoso. En la conversión de gas a partícula, se puede formar material particulado por condensación o por nucleación. Si la condensación se produce a partir de partículas ya existentes, el proceso también se conoce

¹⁵ Donghui Han et al., «A Review on Particulate Matter Removal Capacity by Urban Forests at Different Scales», *Urban Forestry & Urban Greening* 48 (febrero de 2020): 126565, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126565>.

¹⁶ «ESTUDIO DE LOS NIVELES DE PM10 Y PM2.5 EN UN ÁREA URBANA CON INFLUENCIA INDUSTRIAL SIDEROMETALÚRGICA», https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/particulas_beasain/es_doc/adjuntos/documento.pdf.

como nucleación heterogénea. En caso de no haber una base previa de partículas donde condensar, el proceso se conoce como nucleación homogénea. Una vez formados los núcleos en suspensión, se pueden mantener el tamaño estable, o aumentar de tamaño mediante la aportación de más material proveniente del precursor gaseoso (proceso de coagulación)¹⁷.

¹⁷ William E. Wilson y Helen H. Suh, «Fine Particles and Coarse Particles: Concentration Relationships Relevant to Epidemiologic Studies», *Journal of the Air & Waste Management Association* 47, n.º 12 (diciembre de 1997): 1238-49, <https://doi.org/10.1080/10473289.1997.10464074>.

3.3 Elementos frecuentes y fuentes de emisión de partículas

La composición del material particulado es bastante heterogénea, debido a que existen un gran rango de compuestos químicos que eventualmente pueden producir material particulado, desde compuestos orgánicos, sales marinas, minerales en polvo, metales o derivados del azufre, por ejemplo. La siguiente imagen representa la abundancia de cada compuesto en función del tamaño del material particulado¹⁸.

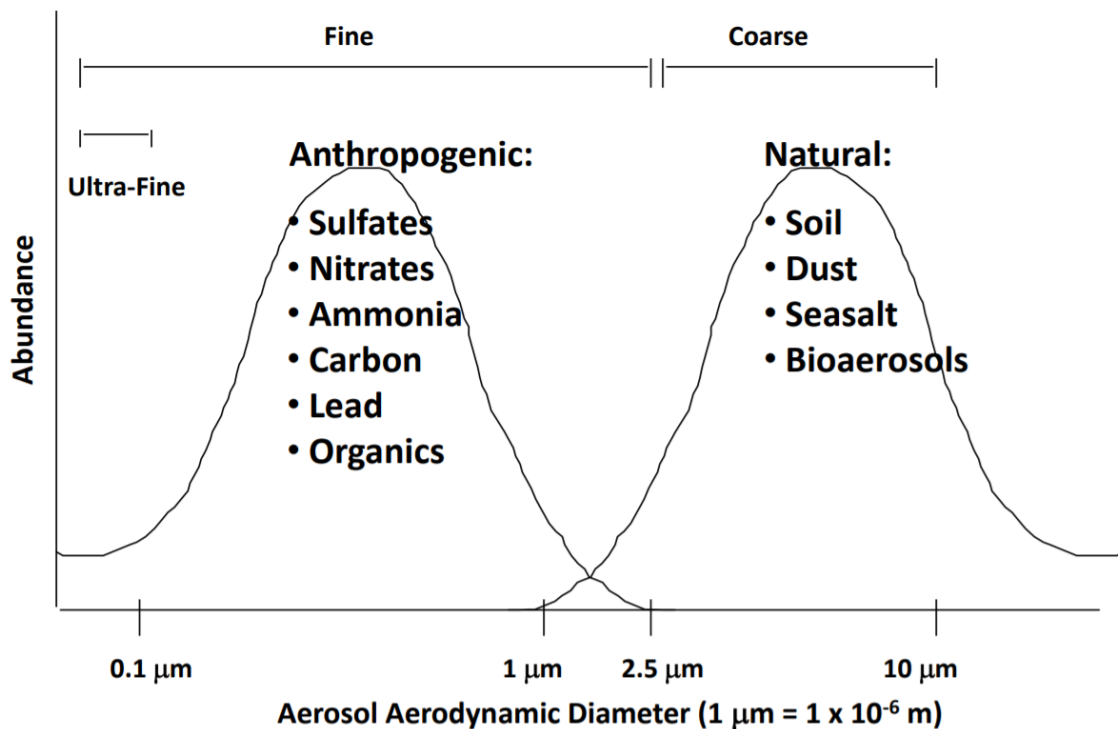


Fig. 5.- Abundancia del material particulado en función del diámetro aerodinámico (fuente de la imagen: US EPA¹⁹).

Tanto la Fig 5 como la información proporcionada anteriormente sobre porcentajes y componentes mayoritarios deben tomarse en cuenta como una información ambigua que ayuda a entender ciertas características, pero no son desde luego reglas generales o fidedignas. Esto se debe al fuerte carácter local de la composición, llegando al punto de que numerosas fuentes de información se contradigan con otras.

Algunos metales frecuentes en el material particulado son el calcio, potasio, magnesio, sodio, plomo, cromo, níquel, zinc, cobre, cadmio y hierro. Para entender la influencia de la actividad antropogénica en la presencia de dichos metales en el material particulado, en la

¹⁸ «Overview of Particle Air Pollution (PM2.5 and PM10).pdf»,

<https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-05/documents/huff-particle.pdf>.

¹⁹ «US EPA», US EPA, U.S. Environmental Protection Agency <https://www.epa.gov/>.

Fig 6 se muestra el factor de enriquecimiento de dichos elementos (medidos en Cardiff²⁰), entendiéndose como factor de enriquecimiento el cociente entre la concentración en aire contaminado respecto a la concentración de aire en un entorno natural (no contaminado por actividad antropogénica).

$$\text{Factor enriquecimiento} = \frac{\text{Concentración medida}}{\text{Concentración estándar medio natural}}$$

Un factor de enriquecimiento cercano a 1 indica poca influencia, y por encima de 40 se considera un enriquecimiento extremadamente alto.

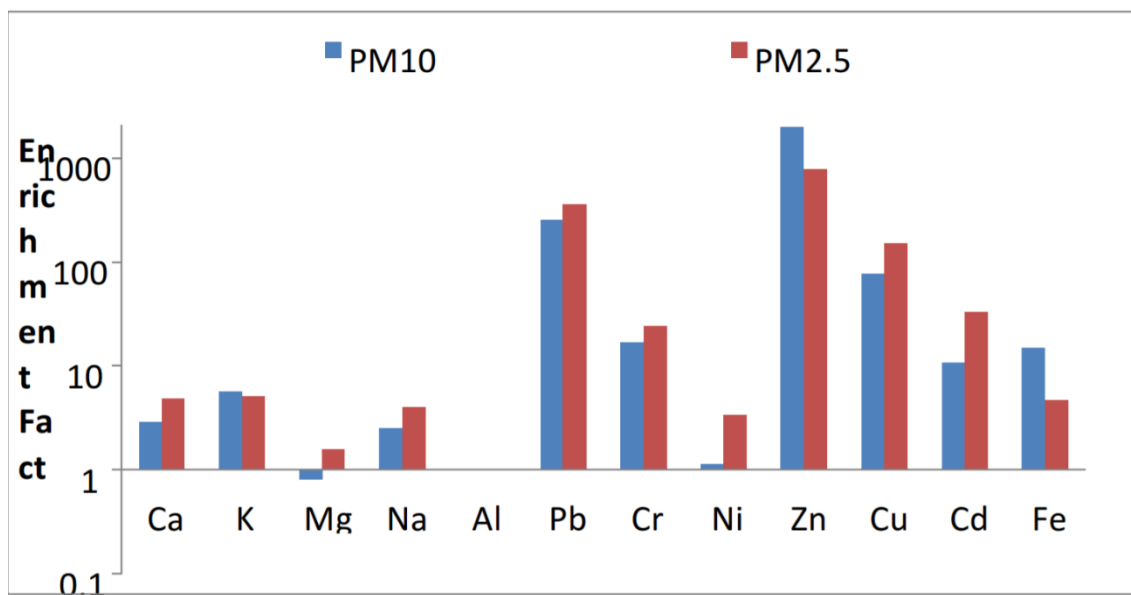


Fig. 6.- Factor de enriquecimiento del material particulado en Cardiff (fuente de la imagen: Mohammed G, Karani G, Mitchell D; 2016²⁰).

Mediciones tomadas en Cardiff (capital de Gales), durante los años 2009 y 2010, de las cuales se concluye que la actividad humana en Cardiff aumenta significativamente los niveles de material particulado metálico¹⁵. En dicho artículo científico, se resalta el hecho de que no se llegan a superar los niveles máximos permitidos por la Unión Europea. Cardiff en dicho periodo tenía una población urbana comprendida entre los 340.000 y 350.000 habitantes.

El material particulado mineral de origen natural, a nivel global procede de las zonas áridas o semiáridas del planeta y es el mayor causante de material particulado de origen natural²¹. La ausencia de humedad presente en el suelo, así como la escasa vegetación y un clima con altas temperaturas acompañadas de grandes bruscos térmicos, son los principales motivos de ello. Al no haber vegetación, la radiación solar incide directamente sobre el suelo desnudo durante el día, con temperaturas muy bajas durante la noche, lo cual produce la fragmentación del suelo madre por fatiga térmica hasta la formación de pequeños

²⁰ G. Mohammed, G. Karani, y D. Mitchell, «Trace Elemental Composition in PM10 and PM2.5 Collected in Cardiff, Wales», *Energy Procedia* 111 (marzo de 2017): 540-47, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.216>.

²¹ Stafoggia et al., «Desert Dust Outbreaks in Southern Europe».

gránulos²² (dicho proceso se conoce como meteorización por estrés térmico o erosión por insolación). La mayor emisión de este tipo de material particulado ocurre en los desiertos en el norte de África, Asia central y Oriente medio, por encima del ecuador térmico entre las latitudes 15-35°C²³. La poca compactación del suelo y la exposición directa al viento sin ninguna barrera natural propicia el arrastre y ascenso del polvo en las capas de la atmósfera.

En la composición de estas partículas, se pueden encontrar cuarzos (SiO₂), óxidos de hierro (Fe₂O₃), sulfato cálcico (CaSO₄·2H₂O), dolomita [CaMg(CO₃)₂], calcita (CaCO₃), feldespatos [KAlSi₃O₈ y (Na,Ca)(AlSi)₄O₈] e illita K(Al,Mg)₃Si₄Al₁₀(OH), entre otros²⁴.

El aporte de aerosol marino también representa una fracción considerable sobre el material particulado de origen natural, ya que el agua cubre el 70% de la superficie de la Tierra, siendo el 96% agua salada²⁵. Se trata de partículas primarias que se forman al romperse las olas, burbujas y por el arrastre del viento. Su composición química es similar al agua marina, formada en su mayoría por KCl; NaCl; KCl y sulfatos de magnesio, potasio, calcio y magnesio; iones... su granulometría es normalmente gruesa (>20µm), y depende de la humedad relativa del ambiente.

Los compuestos de nitrógeno y azufre (compuestos inorgánicos secundarios) que se encuentran en la atmósfera normalmente se producen a partir de la oxidación de sus precursores gaseosos. Los sulfatos se originan por gases de azufre presentes en la atmósfera como el SO₂ o el dimetil sulfuro ((CH₃)₂S, DMS) de los océanos²⁶. Algunas de las fuentes de emisión de azufre pueden ser yacimientos minerales naturales, industria química, volcanes, combustibles fósiles con alto contenido en azufre, centrales térmicas, complejos industriales... El nitrógeno puede llegar a la atmósfera por emisiones del suelo, combustión de combustibles fósiles, combustión de biomasa, incendios forestales... dando lugar a NO_x, amonio y ácido nítrico en la atmósfera. Tanto el nitrógeno como el azufre suelen producir compuestos cuyo diámetro característico es menor a 1µm, por lo cual, acaban siendo una contribución muy significativa al PM_{2.5}.

Los compuestos de carbono pueden ser emitidos directamente a la atmósfera o formarse por condensación de compuestos orgánicos volátiles. Los compuestos orgánicos naturales provienen de la vegetación, los océanos y el suelo; en cambio, los de origen antropogénico

²² K. W. Glennie, ed., «Chapter 3 Desert Erosion and Deflation», en *Developments in Sedimentology*, vol. 14, Desert Sedimentary Environments (Elsevier, 1970), 15-28, [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(08\)70859-8](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(08)70859-8).

²³ Joseph Prospero et al., «Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the NIMBUS 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product», *Reviews of Geophysics* 40 (1 de marzo de 2002).

²⁴ «ESTUDIO DE LOS NIVELES DE PM₁₀ Y PM_{2.5} EN UN ÁREA URBANA CON INFLUENCIA INDUSTRIAL SIDEROMETALÚRGICA».

²⁵ eprojectconsulting, «¿Qué porcentaje de agua tiene la Tierra?», *E-project consulting* (blog), 26 de diciembre de 2018, <https://eprojectconsulting.wordpress.com/2018/12/26/legalizacion-pozo-sondeo-agua-13/>.

²⁶ «Material particulado atmosférico» (CMA), http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.7e1cf46ddf59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnnextoid=bd9a6b23d642c310VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=e339a862d17d4310VgnVCM2000000624e50aRCRD&lr=lang_es&vgnsecondoid=9afb6b23d642c310VgnVCM2000000624e50a___¶m1=2.

proviene de la combustión, emisiones del tráfico, evaporación de gasolina, fabricación de pinturas y disolventes...

3.4 Efectos sobre la salud

El trayecto de las partículas desde el exterior al interior de nuestro organismo comienza en la nariz y en la boca. La nariz es el primer filtro, donde se calienta y humedece el aire, y se retiene parte de las partículas debido a las fosas nasales y a la sedimentación; posteriormente, se eliminan mediante la mucosidad, estornudos, espiración...²⁷

En la faringe y la laringe, parte del aire es desprovisto de su material particulado, que puede ser expulsado por vía esofágica o vía salivar; así como en el árbol traqueobronquial que donde pueden ser expulsadas al exterior por los cilios que presenta.

En cambio, una vez llegados a los alvéolos pulmonares (región alveolar), el material particulado se deposita en las paredes (difusión y sedimentación), y el proceso de expulsión se vuelve muy lento, debido a esto las paredes alveolares retienen la mayor parte de las partículas²².

Una acumulación de material particulado en los pulmones puede dar lugar a una respuesta inmune del organismo en los pulmones, estrés oxidativo, inflamación en zonas pulmonares, asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y cáncer de pulmón. La inflamación en los pulmones implica una serie de respuestas moleculares y celulares que aparecen ante estímulos externos tales como patógenos o sustancias nocivas. Debido a la gran superficie de contacto entre las partículas y los neumocitos (células pulmonares dentro de los alveolos), se produciría la liberación de mediadores de la inflamación en el pulmón, que reclutarían células inflamatorias con una respuesta exacerbada que generarían daños funcionales y estructurales que interferirían en la ventilación pulmonar²⁸. Asimismo, la presencia de material particulado en los alveolos pulmonares produciría un aumento excesivo de los radicales libres, dando lugar al estrés oxidativo, caracterizado por una actividad oxidativa anormalmente alta en el interior de la célula, originando un cambio funcional en la misma acelerando su envejecimiento y favoreciendo la muerte celular (apoptosis). Como consecuencia de ello, se producen deterioros en los tejidos, pueden aparecer diferentes patologías, aparecen trastornos funcionales en el sistema respiratorio y se acelera el envejecimiento celular²⁹.

El material particulado en países desarrollados y en vías de desarrollo, afecta a más personas que cualquier otro tipo de contaminación. La exposición crónica al material particulado aumenta los riesgos de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, entre ellas, el cáncer de pulmón. El problema radica en el tamaño de las partículas, aquellas de

²⁷ Consejería de Salud Región de Murcia, «Murciasalud. Contaminantes del aire: Materias particuladas», <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=244308&idsec=1573>.

²⁸ Patricia Matus C. et al., «Impacto del Material Particulado aéreo (MP 2,5) sobre las hospitalizaciones por enfermedades respiratorias en niños: estudio caso-control alterno», *Revista chilena de pediatría* 90, n.º 2 (abril de 2019): 166-74, <https://doi.org/10.32641/rchped.v90i2.750>.

²⁹ Manuel Oyarzún G et al., «Efectos proinflamatorios de la contaminación atmosférica», *Revista chilena de enfermedades respiratorias* 27, n.º 3 (septiembre de 2011): 183-90, <https://doi.org/10.4067/S0717-73482011000300002>.

10µm o menos, son capaces de pasar a través de la nariz y la garganta, entrando en los pulmones y pueden incluso afectar al corazón, causando graves efectos para la salud³⁰.

Por otro lado, el material particulado tiene un efecto sobre el medio ambiente y el clima. En función de su tamaño y composición, puede afectar al crecimiento vegetal, la fauna, puede reducir la visibilidad, favorecer la aparición de neblinas, alterar precipitaciones...

³⁰ «Respiratory health effects of diesel particulate matter - RISTOVSKI - 2012 - Respirology - Wiley Online Library», <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1440-1843.2011.02109.x>.

3.5 Intrusiones de masas de aire africanas

De los diferentes tipos de emisores de partículas mencionados anteriormente, a nivel global, el material particulado de origen mineral o material particulado cristal es el componente mayoritario, siendo la estimación del IPCC (2001) unas emisiones de 1500 millones de toneladas al año.

Los episodios africanos o intrusiones de polvo africano son fenómenos donde las masas de aire procedentes de África cargadas de polvo desértico del Sahara llegan a Europa principalmente. Este transporte a larga distancia de material particulado mineral aparece cuando se dan episodios masivos de suspensión de polvo en zonas áridas³¹ (en el presente caso, en el norte de África, aunque también ocurren a menor escala en otras regiones como Oriente Próximo o Asia Central).

El desierto del Sahara (norte de África) tiene un clima propicio para este fenómeno a gran escala: por un lado, las lluvias son muy escasas (en las zonas más lluviosas llueve ligeramente una vez cada 100 días, mientras que en otras llueve 2 de cada 1000 días, con una humedad relativa en aire del 10%), temperaturas muy altas (superando los 60°C en verano), una gran superficie de unos 9.2 millones de kilómetros cuadrados³² mayormente constituyendo una llanura elevada con una altitud media entre 395 y 490m, la existencia de una capa de aire sahariana³³ y otros factores como los explicados anteriormente. El calentamiento extremo debido a la irradiación durante el día produce grandes ascensiones de masa de aire caliente, acompañado de inversiones térmicas durante la noche que provocan estabilidad en capas más altas de la atmósfera. Así, las partículas en suspensión no vuelven a depositarse en el suelo, formándose capas semipermanentes en suspensión de material particulado que pueden mantenerse semanas y hasta meses³⁴.

³¹ «Sección de atmósfera-¿Qué son los episodios africanos?», http://www.caib.es/sites/atmosfera/es/que_son_los_episodios_africanos-3217/.

³² «Sahara», en *Wikipedia*, 29 de noviembre de 2020, <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Sahara&oldid=991247637>.

³³ «Capa de aire sahariana», en *Wikipedia, la enciclopedia libre*, 11 de septiembre de 2020, https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Capa_de_aire_sahariana&oldid=129195299.

³⁴ «procedimiento-para-la-identificacion-de-episodios-naturales-de-pm10-y-pm2.5-y-la-demostracion-de-causa-en-lo-referente-a-las-superaciones-del-valor-limite-diario-de-pm10.pdf», <http://www.agroambient.gva.es/va/web/calidad-ambiental/procedimiento-para-la-identificacion-de-episodios-naturales-de-pm10-y-pm2.5-y-la-demostracion-de-causa-en-lo-referente-a-las-superaciones-del-valor-limite-diario-de-pm10>.



Fig. 7.- Foto del satélite AQUA donde aparece un episodio africano en el Mediterráneo (fuente de la imagen: Earthdata NASA³⁵).

Los episodios de intrusión de masas de aire africano en la zona oriental de la Península Ibérica están asociados a la existencia de depresiones sobre el Atlántico frente a las costas de Marruecos o de Portugal, y a la existencia de depresiones en la zona norteafricana o el Mediterráneo Occidental. Debido a esto se detectan elevados niveles de material particulado en el este de Andalucía y la costa mediterránea, a pesar de que en la zona occidental de Andalucía los valores de PM son bajos. Es frecuente también que terminen debido a la lluvia (lavado atmosférico), produciendo lo que se conoce como lluvias rojas o lluvias de barro.

En otros casos se deben a la presencia de un anticiclón norteafricano sobre el Norte de África, la Península Ibérica o la zona mediterránea en niveles superficiales de la atmósfera. Esto produce una masa de polvo que alcanza la Península Ibérica por el oeste. En los periodos de tiempo en los que el anticiclón se sitúa por encima de los 850 hPa en la región en la que se produce la mayor parte del transporte, se produce la baja térmica africana, desplazando el anticiclón hasta niveles más altos. En estos casos el anticiclón africano suele invadir la Península Ibérica, e incluso puede afectar a toda su totalidad.³⁶

³⁵ «Earthdata», <https://earthdata.nasa.gov/>.

³⁶ M. Escudero et al., «Wet and Dry African Dust Episodes over Eastern Spain», *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 110, n.º D18 (2005), <https://doi.org/10.1029/2004JD004731>.

3.6 Metodología para aislar la contribución de episodios naturales

La determinación de los niveles de material particulado es clave para poder determinar influencia de la actividad antropogénica y la calidad del aire, tanto a nivel de estudio como para la realización de una normativa factible adaptada a la situación del escenario.

A raíz de los efectos negativos para la salud que ocasiona el material particulado, la Comisión Europea emitió la directiva 1999/30/EC, respecto a la calidad del aire, la cual establece el material particulado PM10 como un parámetro que debe ser monitorizado, existiendo límite tanto a los valores promedio anual y diarios como el número de veces que se permite superar el límite diario³⁷. El problema vinculado a la medición del material particulado radica en la gran cantidad de compuestos químicos que susceptibles de formar PM10 (minerales, compuestos orgánicos volátiles, sales marinas, partículas provenientes de la contaminación industrial...) y, por ende, de diferentes orígenes, algunos de ellos, de origen natural. Cuando se establecen planes de acción o regulaciones sobre el material particulado, se espera actuar sobre aquella proporción de material particulado que es en la medida de lo posible debido a circunstancias propias (internas de la propia región). Aunque existen numerosos factores externos que pueden incrementar los niveles de PM10, a nivel cuantitativo los más significativos son los episodios de intrusión de polvo africano. También existen episodios de intrusión de material particulado de otra índole, tales como los episodios de PM por intrusión de sales marinas o el incremento de PM debido a incendios forestales.

Existen diferentes métodos para la cuantificación de la contribución de polvo africano, entre ellos, destacan los estudios de especiación química. Dicha metodología permite segregar la aportación de PM en función de su composición química y determinar su origen de una manera precisa³⁸, incluso pudiendo determinar no sólo el PM primario debido a episodios de intrusión de polvo africano sino también la formación de PM secundario como consecuencia de la interacción de compuestos antropogénicos locales con los componentes del polvo mineral. Existen diferentes estudios de este tipo con datos reales realizados en diferentes regiones de España^{39,40,41}. El principal problema de la especiación química es el

³⁷ «Council Directive 1999/30/EC of 22 April 1999 Relating to Limit Values for Sulphur Dioxide, Nitrogen Dioxide and Oxides of Nitrogen, Particulate Matter and Lead in Ambient Air», Pub. L. No. 31999L0030, OJ L 163 (1999), <http://data.europa.eu/eli/dir/1999/30/oj/eng>.

³⁸ «Sources and processes affecting levels and composition of atmospheric particulate matter in the Western Mediterranean», <https://upcommons.upc.edu/bitstream/2117/94303/5/05CHAPTER4.pdf>.

³⁹ Viana Rodríguez y María del Mar, «Niveles, composición y origen del material particulado atmosférico en los sectores Norte y Este de la Península Ibérica y Canarias», *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)* (Ph.D. Thesis, Universitat de Barcelona, 2003), <http://www.tdx.cat/handle/10803/1972>.

⁴⁰ Jesús D. de la Rosa et al., «Evolución Geoquímica del Material Particulado Atmosférico en Zonas Cerámicas y Mineras de Andalucía. Implicaciones en Calidad del Aire», s. f., <http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/7622/Evolucion%20Geoquimica%20del%20material%20particulado.pdf?sequence=2>.

⁴¹ Pedro Salvador Martínez y Pedro Salvador Martínez, «Caracterización de la contaminación atmosférica producida por partículas en suspensión en Madrid» (info:eu-repo/semantics/doctoralThesis, Madrid, Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones, 2005), <https://eprints.ucm.es/5402/>.

alto coste y tiempo empleado que lleva el estudio de grandes muestras, análisis químicos y la interpretación de los datos.

A raíz de ello, diversos autores⁴² proponen en 2007, aplicar una metodología cuantitativa más simple para estimar la contribución de PM₁₀ durante episodios de intrusión de polvo africano. Esta metodología se basa en el análisis de los niveles medidos de PM₁₀ en estaciones de medición de fondo rural a lo largo del tiempo. Las estaciones de medición de fondo rural son estaciones para la medición del material particulado, que se encuentran en zonas geográficas alejadas de las fuentes de PM antropogénico y se encuentran ubicadas por todo el territorio ibérico.

La metodología propuesta³⁶ se basa en primer lugar en la determinación del periodo en el que las masas de aire cargado con polvo africano alcanzan las zonas analizadas mediante las estaciones de medición de fondo rural.

Actualmente la identificación de episodios de intrusión de polvo africano se realiza por un equipo de investigación formado por CSIC-UNL-AEMet-CIEMAT-UHU⁴³, encargado de realizar informes anuales para la identificación de episodios naturales.

Estos informes se basan en diferentes herramientas analíticas proporcionadas por diferentes entidades y su procedimiento se encuentra explicado en el procedimiento para la identificación de superaciones del valor límite diario PM₁₀ causadas por aportes naturales³⁷. En primer lugar, se interpretan las situaciones meteorológicas diarias y se obtienen las trayectorias de masas de aire diarias a las 12 horas y para diferentes alturas sobre el nivel del mar (concretamente para 750, 1500 y 2500 metros) y las de 5 días atrás mediante el modelo HYSPLIT. Posteriormente, se consultan los mapas de índices de aerosoles OMI (Ozone Monitoring Instrument, proporcionados por la NASA) que determina la columna de ozono a partir del ultravioleta y las variaciones estacionales; al mismo tiempo, estos datos son contrastados con las imágenes satelitales de la NASA dado que pueden poner de manifiesto eventos africanos no detectados por el OMI, especialmente aquellos producidos a nivel de superficie. Asimismo, se consultan los resultados diarios de SKIRON (el primer sistema integrado de modelado de áreas limitadas para la predicción regular del clima y el ciclo del polvo en la atmósfera), DREAM (modelo obtenido en el BSC, Barcelona Supercomputer Center), NAAPs y el modelo HIRLAM (ejecutado por la Agencia Estatal de Meteorología).

A partir de los episodios de intrusión de polvo africano ya identificados, y las mediciones obtenidas en las estaciones de medición de fondo rural (ubicadas en zonas alejadas de los focos de PM₁₀ antropogénico), se propone³⁶ estimar la aportación de PM₁₀ debido a polvo africano como la variación del valor de PM₁₀ medido respecto al valor de fondo.

⁴² Escudero et al., «A Methodology for the Quantification of the Net African Dust Load in Air Quality Monitoring Networks».

⁴³ «procedimiento-para-la-identificacion-de-episodios-naturales-de-pm10-y-pm2.5-y-la-demostracion-de-causa-en-lo-referente-a-las-superaciones-del-valor-limite-diario-de-pm10.pdf», <http://www.agroambient.gva.es/va/web/calidad-ambiental/procedimiento-para-la-identificacion-de-episodios-naturales-de-pm10-y-pm2.5-y-la-demostracion-de-causa-en-lo-referente-a-las-superaciones-del-valor-limite-diario-de-pm10>.

Se considera estimar el nivel de fondo utilizando un percentil móvil, de 30 días, ocupando el día de estudio la posición 15, y excluyendo en esos 30 días aquellos días con episodio de intrusión de polvo africano. Para determinar el percentil idóneo, se utilizan los percentiles 5th, 10th, 40th y 50th; y los resultados obtenidos se contrastan los resultados obtenidos mediante especificación química para el mismo periodo de estudio. Como conclusión, los autores determinan que el percentil más idóneo corresponde al 30th³⁶.

Sin embargo, a partir de estudios posteriores se ha decidido escoger el percentil 40, ya que aunque el percentil 30 reproduce mejor los episodios de polvo africano, el percentil 40 refleja mejor el comportamiento del resto de los procesos advectivos⁴⁴.

Dichos estudios científicos han sido los predecesores y el fundamento a partir de la cual se ha registrado el SEC2011/208, reflejada en el Real Decreto 102/2011 en el que se establece el "Procedimiento para la identificación de episodios naturales de PM10 y PM2,5, y la demostración de causa en lo referente a las superaciones del valor límite diario de PM10".

Otros autores, sin embargo, establecen con carácter local el uso de percentil 50 en las ciudades de Milán y Atenas⁴⁵, por tener un mejor ajuste respecto los datos. Dicho valor es un valor más conservador, dando como resultado un menor incremento estimado debido a los episodios de intrusión de polvo africano. Los mismos autores también justifican el uso de un modelo PMF para la estimación de la contribución de polvo africano, sin embargo de uso exclusivo para la ciudad de Florencia ya que por la orografía de la región, no se presenta una estación de medición de fondo rural representativa de la zona; algo que por el contrario no sucede en el caso de la península ibérica. También realizan la metodología propuesta del percentil móvil sin excluir los días afectados por los episodios de intrusión de polvo africano. Esto podría considerarse como que parte de la intrusión de polvo incrementa los niveles de fondo.

La consideración del percentil móvil incluyendo los días de intrusión, eleva el valor del PM10 de fondo, y como consecuencia, disminuye la concentración asociada a la intrusión. Sin embargo, estas variaciones tienden a ser pequeñas, debido a la poca sensibilidad estadística del percentil.

Aunque en el ámbito de la investigación el uso del percentil 30 ó 40 pueda tener una importancia significativa, a nivel legislativo, esto tiene poca influencia, debido a que sólo se permite aplicar el método como justificación para reducir el número de superaciones del límite diario en aquellos días con episodio de intrusión de polvo africano (en la totalidad de las estaciones de medición de la región de Murcia en los años 2018 y 2019 esto sólo ha ocurrido 10 o menos días al año).

⁴⁴ Querol et al., «African Dust Influence on Ambient PM Levels in South-Western Europe (Spain and Portugal)».

⁴⁵ Evangelia Diapouli et al., «AIRUSE-LIFE +: Estimation of Natural Source Contributions to Urban Ambient Air PM₁₀ and PM_{2.5} Concentrations in Southern Europe – Implications to Compliance with Limit Values», *Atmospheric Chemistry and Physics* 17, n.º 5 (15 de marzo de 2017): 3673-85, <https://doi.org/10.5194/acp-17-3673-2017>.

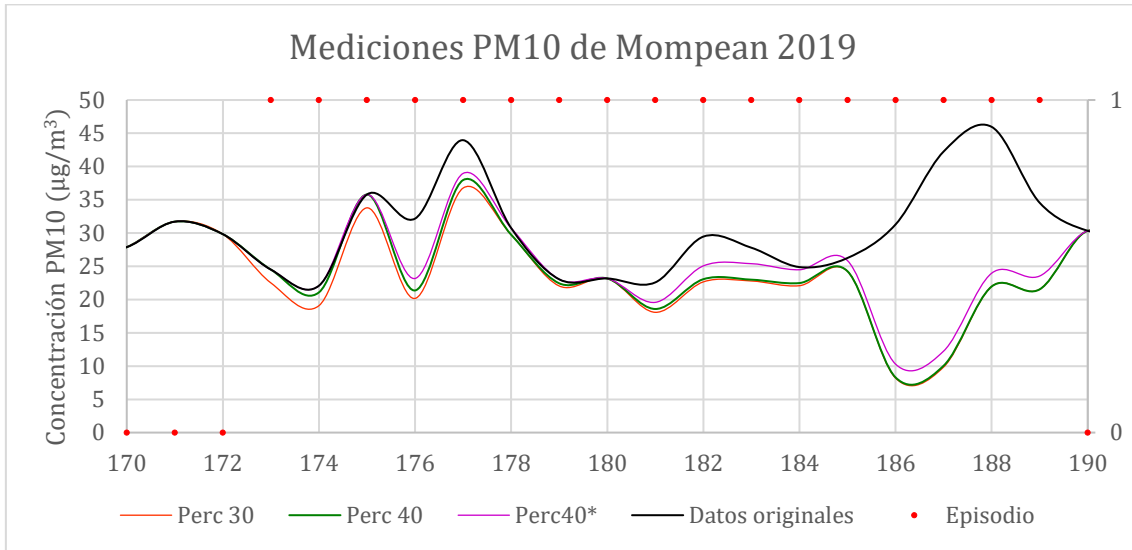


Fig. 8.- Concentraciones medias diarias de PM10 medidas en Mompean (datos originales); estimación del PM10 descontando el PM10 africano mediante el percentil 30 (Perc 40) y percentil 40 (Perc 40) móvil excluyendo los días de intrusión para su cálculo; e incluyendo los días de intrusión con el percentil 40 móvil (Perc40*). Datos obtenidos de Mompean y Zarra entre el 16/06/2019 y el 09/07/2019.

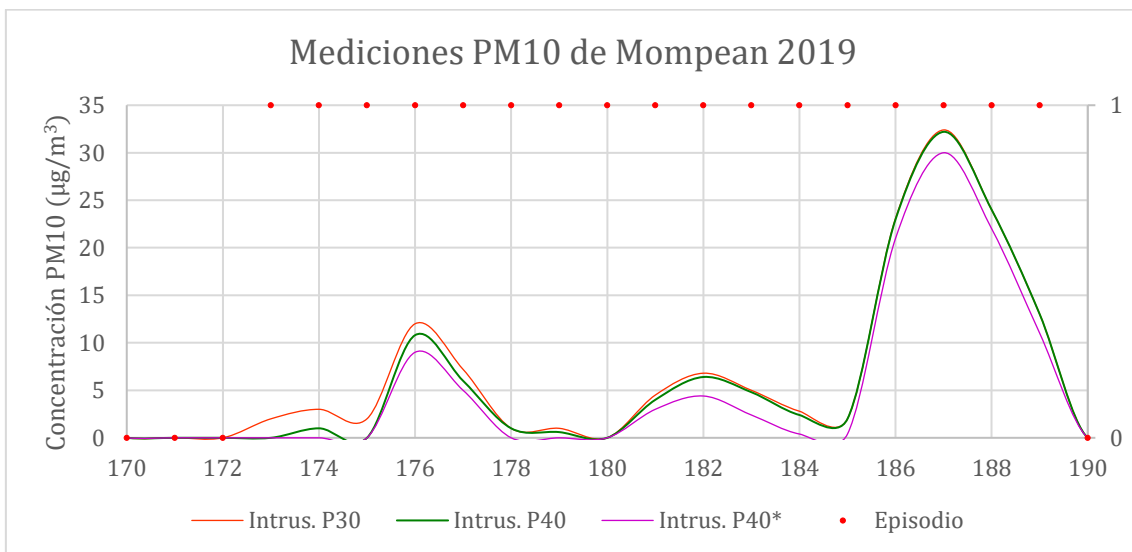


Fig. 9.- Intrusión de polvo asociado calculados mediante los métodos descritos en Fig 8.

Aunque en la Fig 8 se pueda ver un pequeño tramo donde el valor obtenido por el percentil 40 móvil sin excluir los días con intrusión sea superior a los datos originales (medidas de Mompean), esto no se trata de un valor real, sino un efecto producido por el diseño de la gráfica al unir puntos.

En las Fig 8 y 9, se pueden apreciar los diferentes valores obtenidos con uno u otro método. Se observa que al realizar el percentil móvil 40 sin excluir días, la intrusión asociada es menor. Esto puede solventar parcialmente las carencias del método: en algunos casos las concentraciones asociadas a los episodios son aparentemente incoherentes por ser muy

altas, y en algunos casos donde hay episodios muy seguidos el percentil móvil excluyendo días tiene que calcularse con muy pocos días.

En todo caso, la diferencia el método más optimista y el más pesimista en este tramo es del 5.18% (diferencia entre valor medio con descuentos respecto al valor medio de los datos originales). Sin embargo, al considerar el periodo anual, este valor se encuentra por debajo del 3%, ya el tramo mostrado en la gráfica responde a razones estéticas para resaltar el contraste entre un método u otro.

3.7 Marco normativo sobre el material particulado

Actualmente, en lo referente al material particulado, está en vigor la Directiva Europea 2008/50/CE (EU, 2008), la cual está reflejada en la legislación española mediante el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. Previa a la situación actual, hasta julio de 2001 el control del material particulado se obtenía a partir de los valores medidos de partículas en suspensión totales y humos negros a partir de los Reales Decretos 1613/1985 y 1321/1992, como resultado de la incorporación de las directivas 80/779/CEE y 89/427/CEE a la legislación española. Dicho reglamento solamente tenía en cuenta la medida de los llamados humos negros, y partículas en suspensión totales, pero sin llegar a hacer una discriminación del tamaño del material particulado.

Posteriormente con la Directiva Europea 1999/30/EU, aparecían nuevos valores límite de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire; incluyendo por primera vez la medición gravimétrica del material particulado como método de referencia y diferenciando entre los tamaños de partícula PM10 y PM2.5. En dicha directiva no se establecían valores límites para el PM2.5, pero sí para el PM10, e instaba a que se tomaran medidas encaminadas a reducir tanto el PM10 como el PM2.5, así como que hubiese un control de las concentraciones en estaciones de medida.

Respecto la emisión de partículas en la industria, cabe destacar el Decreto 833/1975, por el cual se desarrolla ya Ley 38/1972 donde se establecen límites a la emisión de partículas en la industria. También el Real Decreto 430/2004 para Grandes Instalaciones de Combustión, que transpone la Directiva 2001/80/CE. Dichas normativas fueron sustituidas por la Directiva 2010/75/UE, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación).

En relación con la emisión de partículas en el transporte, aparecen las normas EURO, que fijan valores límites de las emisiones para los nuevos vehículos, teniendo estas una evolución progresiva cada vez más restrictiva. Actualmente está en vigor la Euro VI.

Con la normativa actual, la ya mencionada 2008/50/CE (EU, 2008) y su transpuesta española, el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, se establecen tanto valores límite para el PM10 como para el PM2.5.

Parámetro de referencia	PM10	PM2.5
Valor objetivo anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		25 (2010)
Valor límite anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	40	25 (2015)
Valor límite anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Fase 2)		20 (2020)
Valor límite diario ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50	
Número de superaciones del valor límite diario permitidas	35	
Obligación en materia de concentración de la exposición		20 (2015)*
Objetivo de reducción de la exposición de 2011 a 2020		Máximo del 20%**

*Valor de la media trienal de PM2.5 en estaciones de fondo urbano en 2013-2015
**Reducción de la media trienal de PM2.5 en estaciones de fondo urbano desde 2009-2011 a 2018-2020.

Fig. 10.- Valores límite anual, diario y número de superaciones del valor límite diario de PM10 y valores objetivo y límite anual y obligación en materia de concentración y objetivo de reducción de la exposición para PM2.5 establecidos por la Directiva Europea 2008/50/CE.

Los valores límite recomendados por la OMS, son más estrictos: para el MP2.5, la media anual máxima es de 10µg/m³ y la media diaria máxima de 25µg/m³; para el MP10, la media anual es de 20µg/m³ y la media diaria máxima de 50µg/m³.

Según el Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, para el PM10 se definen los siguientes índices de calidad del aire⁴⁶:

- Entre 0 y 20µg/m³: calidad buena.
- Entre 21 y 40µg/m³: calidad razonablemente buena.
- Entre 41 y 50µg/m³: calidad regular.
- Entre 51 y 100µg/m³: calidad desfavorable.
- Entre 101 y 150µg/m³: calidad muy desfavorable.
- Entre 151 y 1200µg/m³: calidad extremadamente desfavorable.

La legislación actual establece una metodología para estimar en qué medida se ven afectados los niveles de PM por las fuentes naturales y cuál es la contribución de PM ocasionado por actividad humana, con el objetivo de no contabilizar las superaciones ocasionadas por las fuentes naturales (en lo que respecta a la superación de valores límite) u otras fuentes ajenas. Para ello, la Directiva 2008/50/CE, en su artículo 20 establece que⁴⁷: *“los estados miembros deben consultarse mutuamente cuando a consecuencia de una contaminación significativa procedente de otro Estado miembro el nivel de algún contaminante supere o amenace con superar los objetivos de calidad del aire, más el margen de tolerancia, cuando este sea aplicable, o, cuando así proceda, el umbral de alerta. La naturaleza transfronteriza de determinados contaminantes, como el ozono y las partículas, puede requerir la coordinación entre Estados miembros vecinos para la elaboración y ejecución de planes de calidad del aire y de planes de acción a corto plazo y para la información al público”*.

La Directiva 2008/50/CE también recoge en su artículo número 26 la obligatoriedad de que los ciudadanos tengan acceso información adecuada y oportuna acerca de la calidad del aire, toda decisión de prórroga adoptada y/o excepción con arreglo al artículo 22 y los planes de calidad del aire. Dichos requisitos vienen reflejados en el artículo 28 del Real Decreto 102/2011.

Respecto a las superaciones ocasionadas por fuentes naturales, el Real Decreto 102/2011 en su artículo 22 (Aportaciones procedentes de fuentes naturales) establece que⁴⁸:

1. Las comunidades autónomas elaborarán anualmente listas con las zonas y aglomeraciones en las que las superaciones de los valores límite de un contaminante sean atribuibles a fuentes naturales. Igualmente, facilitarán al Ministerio de Medio Ambiente, y

⁴⁶ «resolucion_02092020_modificacion_ica_tcm30-511596.pdf», https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/resolucion_02092020_modificacion_ica_tcm30-511596.pdf.

⁴⁷ «BOE.es - Documento DOUE-L-2008-81053», <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2008-81053>.

⁴⁸ «BOE.es - Documento consolidado BOE-A-2011-1645», <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2011-1645>.

Medio Rural y Marino información acerca de las concentraciones y las fuentes y las pruebas que demuestren que dichas superaciones son atribuibles a fuentes naturales.

2. Las superaciones atribuibles a fuentes naturales según el apartado anterior no se considerarán superaciones a los efectos de lo dispuesto en el presente real decreto y no originarán la obligación de ejecutar planes de actuación.

3. En el caso de las partículas, se utilizará para la demostración y sustracción de los niveles atribuibles a fuentes naturales la metodología descrita en el anexo XIV.

Por lo tanto, el apartado 2 y 3 del artículo 22 del el Real Decreto 102/2011, reflejan por un lado poder aislar las contribuciones por fuentes naturales y aluden a la metodología a seguir para poder separar dicha contribución a los niveles medidos. A su vez, el Anexo XIV del citado Real Decreto establece que: “...para el caso de las partículas se utilizará el «Procedimiento para la identificación de episodios naturales de PM10 y PM2,5, y la demostración de causa en lo referente a las superaciones del valor límite diario de PM10», elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino en colaboración con las comunidades autónomas”.

Dicho procedimiento, establece en el apartado 2 (Metodología), lo siguiente⁴⁹: “*Para cuantificar los niveles de PM10 aportados por el fondo regional de la zona para un día de influencia africana (no toda la masa de PM de ese día en concreto es de origen africano), en cada serie temporal de niveles de PM10 de cada una de las estaciones seleccionadas se procederá a determinar el percentil 40 medio móvil mensual para cada día de medida. Para ello se redondean los valores diarios al entero más próximo, y se toma el día en evaluación en la posición 15 de 30 días, excluyendo de éstos los días con influencia de polvo africano. Estudios realizados sobre los niveles de PM10 registrados en estaciones EMEP de España y estaciones de fondo regional de Portugal durante episodios de advección excluyendo la africana (atlántica, mediterránea y europea principalmente) muestran que el percentil 40 reproduce bastante adecuadamente el fondo regional registrado en procesos advectivos. Al final del procedimiento se adjunta justificación de la elección de dicho percentil. El valor correspondiente a este percentil móvil medio mensual diario se sustraerá de la media diaria de PM10 determinada en la estación de fondo para cada día afectado por el aporte africano. Con ello se obtendrá la carga diaria neta de polvo a PM10. (...) Para aquellos días en que se supere el valor límite diario en una estación de tipo urbano o industrial y en los que se haya identificado un episodio de aportes de partículas africanas se realizará la sustracción de la carga neta diaria de polvo africano determinada en la estación de fondo correspondiente (la más próxima a la red en cuestión). Si el resultado de esta sustracción es inferior al valor límite diario se puede considerar que dicha superación es atribuible al aporte natural en la estación considerada, y por tanto se puede descontar.*”

⁴⁹ «procedimiento-para-la-identificacion-de-episodios-naturales-de-pm10-y-pm2.5-y-la-demostracion-de-causa-en-lo-referente-a-las-superaciones-del-valor-limite-diario-de-pm10.pdf», <http://www.agroambient.gva.es/va/web/calidad-ambiental/procedimiento-para-la-identificacion-de-episodios-naturales-de-pm10-y-pm2.5-y-la-demostracion-de-causa-en-lo-referente-a-las-superaciones-del-valor-limite-diario-de-pm10>.

La propia metodología tiene el apartado 2.2.1 Justificación de la selección del percentil 40. El procedimiento se aplica sobre las estaciones de medición de fondo rural, no toda estación de medida de la calidad de aire lo es.



Fig. 11.- Red de estaciones de fondo a utilizar para la detección de episodios africanos. Aquellas marcadas en azul corresponden a estaciones EMEP con medidas en tiempo real y en verde, aquella con medidas gravimétricas (fuente de la imagen: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino - España⁵⁰).

La estación de fondo rural de referencia más cercana a nuestra zona de estudio (región de Murcia) podría ser la de Níjar, sin embargo, los datos de dicha estación no se encuentran disponibles, por lo tanto, serán utilizados los datos provenientes de Zarra. La siguiente estación por proximidad es la de Víznar.

⁵⁰ «Procedimiento-para-la-identificacion-de-episodios-naturales-de-pm10-y-pm2.5-y-la-demostracion-de-causa-en-lo-referente-a-las-superaciones-del-valor-limite-diario-de-pm10.pdf», , <http://www.agroambient.gva.es/va/web/calidad-ambiental/procedimiento-para-la-identificacion-de-episodios-naturales-de-pm10-y-pm2.5-y-la-demostracion-de-causa-en-lo-referente-a-las-superaciones-del-valor-limite-diario-de-pm10>.

<u>NW Península</u>			
O Saviñao	42° 38' 05"N	07° 42' 17"W	506 m.s.n.m.
Lamas de Olo	41° 18' 37"N	07° 45' 02"W	1086 m.s.n.m.
<u>W Península</u>			
Fundão	40° 07' 48"N	07° 29' 24"W	473 m.s.n.m.
Chamusca	39° 21' 05"N	08° 28' 23"W	43 m.s.n.m.
Chamusca	39° 21' 05"N	08° 28' 23"W	43 m.s.n.m.
<u>SW Península</u>			
Barcarrota	38° 28' 33"N	06° 55' 22"W	393 m.s.n.m.
Alcoutim	37° 26' 51"N	07° 27' 35"W	300 m.s.n.m.
Doñana	37° 15' 29"N	06° 56' 32"W	96 m.s.n.m.
<u>S y SE Península</u>			
Viznar	37° 14' 18"N	03° 28' 28"W	1265 m.s.n.m.
Níjar	36° 59' 13"N	02° 11' 39"W	343 m.s.n.m.
Sierra Norte	37° 59' 47"N	05° 39' 58"W	569 m.s.n.m.
<u>N Península</u>			
Niembro	43° 26' 21"N	04° 50' 59"W	134 m.s.n.m.
Valderejo	42° 52' 31"N	03° 13' 53"W	911 m.s.n.m.
Izki	42° 39' 27"N	02° 30' 14"W	835 m.s.n.m.
Mundaka	43° 24' 22"N	02° 42' 14"W	116 m.s.n.m.
Pagoeta	43° 15' 02"N	02° 09' 18"W	215 m.s.n.m.
<u>Centro Península</u>			
El Atazar	40° 54' 37"N	03° 28' 00"W	940 m.s.n.m.
Campisabalos	41° 16' 52"N	03° 08' 34"W	1360 m.s.n.m.
Peñausende	41° 17' 20"N	05° 52' 01"W	985 m.s.n.m.
Risco Llano	39° 31' 29"N	04° 21' 09"W	1241 m.s.n.m.
San Pablo de los Montes	39° 32' 52"N	04° 20' 55"W	917 m.s.n.m.
Monfragüe	39° 50' 57"N	05° 56' 23"W	376 m.s.n.m.
<u>E Península</u>			
Morella	40° 38' 14"N	00° 05' 28"W	1150 m.s.n.m.
Zarra	39° 05' 10"N	01° 06' 07"W	885 m.s.n.m.
<u>NE Península</u>			
Els Torms	41° 23' 42"N	00° 43' 16"E	470 m.s.n.m.
Monagrega	40° 56' 48"N	00° 17' 27"W	570 m.s.n.m.
Montseny	41° 45' 36"N	02° 35' 00"E	728 m.s.n.m.
Cabo de Creus	42° 19' 10"N	03° 19' 01"E	23 m.s.n.m.
<u>Baleares</u>			
Castillo de Bellver	39° 33' 50"N	02° 37' 22"E	113 m.s.n.m.
Mahón	39° 52' 12"N	04° 19' 12"E	78 m.s.n.m.
<u>Canarias</u>			
Estaciones primarias:			
El Río (TF)	28° 08' 46"N	16° 31' 22"W	500 m.s.n.m.
Arinaga (GC)	27° 52' 13"N	15° 23' 09"W	12 m.s.n.m.
<u>Islas Madeira</u>			
Quinta da Magnolia	32° 44' 44"N	16° 58' 28"W	
Estaciones para ser utilizadas en caso de ausencia de datos en las anteriores			
Buzanada (TF)	28° 04' 26"N	16° 39' 06"W	309 m.s.n.m.
Sardina (GC)	27° 50' 58"N	15° 27' 57"W	190 m.s.n.m.
Horta (Azores)	38° 36' 18"N	28° 37' 53"W	310 m.s.n.m.

Fig. 12.- Estaciones de medición de fondo rural presentes en territorio español y portugués.

En el momento de redactar este documento (año 2020), las estaciones de medición de fondo rural y su ubicación se presentan en la Fig 12 aunque no todas se encuentran operativas. Estas estaciones se encuentran ubicadas en diversos puntos del territorio español y portugués.

Lo ideal es que, para obtener las medidas más fidedignas posibles, hubiese un mayor número de estaciones de referencia. Sin embargo, situar un gran número de estaciones de referencia próximas a las redes de medida ocasionaría que en muchos casos se vieses influenciadas por las emisiones urbanas, y además tendría un coste económico muy alto.

Puede darse el caso de que en ocasiones pueda registrarse el aporte natural del material particulado en la estación de medida de fondo más cercana sea mayor que la propia medida de material particulado en nuestra estación de referencia. Este fenómeno puede ser atribuible por ejemplo a la altura, ya que se dan casos en los que la masa de aire con alta carga de polvo africano presente una mayor concentración de éste a determinadas alturas. En dicho caso, al ser el aporte de material particulado estimado superior al global medido en nuestra estación de referencia, se obtendría un valor negativo. En estos casos, tal y como especifica el mismo procedimiento, se debe utilizar el valor promedio de carga neta de polvo entre la estación de fondo más cercana y la siguiente. En el caso de que el problema persistiese, se consideraría como carga no africana el valor correspondiente al percentil 40 móvil de 30 días para ese día concreto en la estación evaluada, calculado a partir de los niveles de PM10 excluyendo los días con influencia de masas de aire de origen africano.

Ejemplificándolo en el presente caso: si midiendo material particulado en Mompean, el aporte de material particulado asociado a eventos naturales obtenido a partir de las medidas de Zarra fuese superior al medido en Mompean, entonces debería tenerse en cuenta el aporte del material particulado estimado promedio de la estación de Zarra y la de Víznar. En caso de que el aporte estimado siguiese siendo superior a la propia medida de Mompean, la aportación de material particulado por evento natural sería la diferencia entre el valor medido en Mompean y el percentil 40 medido en Mompean proveniente de los 30 días más cercanos sin episodios de intrusión de polvo africano, ocupando el día de referencia la posición 15.

4. Materiales y métodos

4.1 Red de Vigilancia Atmosférica utilizados

La Red de Vigilancia Atmosférica de la Región de Murcia (SINQLAIR) está constituida por estaciones de automáticas de medida (fijas o móviles) y un centro de recepción y gestión de los datos. En la actualidad consta de 8 estaciones fijas y 2 móviles, ubicadas en los distintos puntos de la región de Murcia. Asimismo, como estaciones de referencia para el fondo rural, también se utilizarán datos provenientes de dos estaciones de medición del Programa Europeo de Monitorización y Evaluación (EMEP).

Por la necesidad de hacer un seguimiento de la contaminación en diferentes focos, así como su dispersión en el territorio nacional, las estaciones de medida se colocan en diferentes zonas. Las zonas fijadas deben abarcar superficies donde la calidad del aire sea equivalente en su extensión, aunque dentro de cada zona puede existir más de un punto de medida. Algunos factores para tener en cuenta en una zona son la orografía, los niveles de contaminación registrados, la presencia de actividad industrial, el tráfico rodado, la cercanía a zonas urbanas...

En la Fig 13 se puede apreciar la división de la región de Murcia en 7 zonas, y sus estaciones correspondientes.

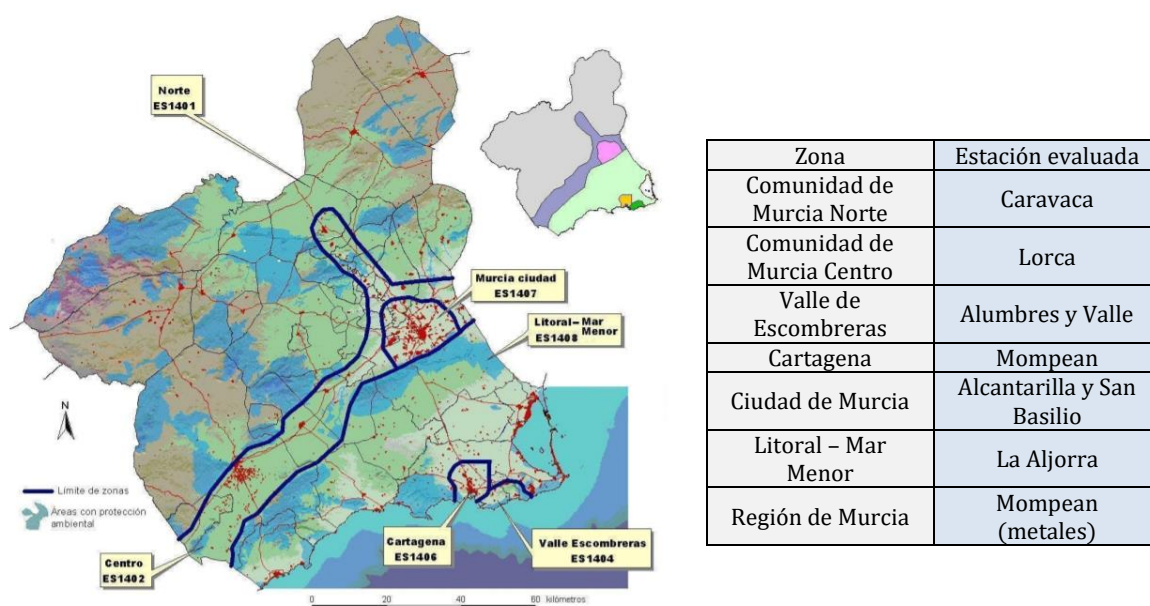


Fig. 13.- Estaciones de vigilancia sometidas a evaluación de calidad del aire en la región de Murcia (fuente de la imagen: SINQLAIR⁵¹).

Las estaciones de medida analizan el aire en tiempo real y constan de una serie de sensores para el seguimiento de los principales contaminantes (algunos o todos): material

⁵¹ «Calidad del Aire de la Región de Murcia», <https://sinqclair.carm.es/calidadaire/>.

particulado (PM2.5 y PM10), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), amoníaco (NH₃), benceno, ozono (O₃), monóxido de carbono (CO), cadmio (Cd), arsénico (As), plomo (Pb), níquel (Ni), mercurio (Hg), e hidrocarburos policíclicos (benceno, tolueno, xileno y benzoalfapireno); asimismo, también se realizan las medidas correspondientes a la meteorología (dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad relativa, radiación solar y presión atmosférica). Los datos se toman de manera horaria y posteriormente esos datos son analizados, validados y publicados, de modo que se encuentran disponibles para cualquier usuario⁵².

Según la zona de estudio, una estación de medida se clasifica en estación industrial, estación de tráfico, estación de fondo rural o estación de fondo urbano.

- Estación industrial: se localiza en una zona con un nivel de contaminación debido predominantemente a las emisiones de actividades industriales. Al menos un punto se situará a sotavento de la fuente. Son representativas de al menos 250m² de los emplazamientos industriales.
- Estación de tráfico: se localiza en una zona con un nivel de contaminación debido predominantemente al tráfico. Se consideran representativas de aproximadamente 100 m de longitud en los emplazamientos de tráfico.
- Estación de fondo rural: se localiza en zonas alejadas de cualquier foco directo de contaminación antropogénica con el fin de obtener medidas de fondo a nivel regional y rural.
- Estación de fondo urbano: se localiza dentro de las áreas urbanas, pero en zonas de fondo que representan los niveles de exposición de los ciudadanos. Se ubican de manera que estén influenciadas por todas las fuentes situadas a barlovento, y son representativas de varios km².

En el presente caso, las estaciones de medición utilizadas y sus correspondientes categorías son:

Estaciones de medición fija	Tipo de estación
Mompean	Fondo urbano
Alcantarilla	Industrial
Alumbres	Industrial
Valle Escombreras	Industrial
La Aljorra	Industrial
Lorca	Industrial
San Basilio	Tráfico
Caravaca	Fondo rural
Zarra	Fondo rural
Víznar	Fondo rural

⁵² «Informe anual 2018_final.pdf», https://sinqlair.carm.es/calidadaire/documentos/documentacion/Informe%20anual%202018_fin al.pdf.

Fig. 14.- Clasificación de las estaciones de medida utilizadas en este documento de acuerdo con su zona.

Según el SINQLAIR⁴⁴ la estación de Caravaca es una estación de medición de fondo rural, sin embargo, no aparece como tal registrada en el documento del Ministerio como estación de fondo rural para ser utilizada como referencia. Por ello, será tratada como una estación de medida más de la región de Murcia.

En las figuras 15 y 16 se muestran sus características principales:

Estación	Código	Medida	Técnica de análisis	Modelo	Fecha instalación
Caravaca	ES1401	Automática	Microbalanza	1400AB TEOM	01/2012
Lorca	ES1402	Automática	Microbalanza	1400AB TEOM	03/2008
La Aljorra	ES1408	Automática	Microbalanza	1400AB TEOM	2004
Alumbres	ES1404	Automática	Microbalanza	1400AB TEOM	2004
Alcantarilla	ES1407	Automática	Microbalanza	1400AB TEOM	2010
Valle de Escombreras	ES1404	Automática	Microbalanza	1400AB TEOM	2004
Mompean	ES1406	Automática	Microbalanza	1400AB TEOM	2004
San Basilio	ES1407	Automática	Radiación Beta	5030FH62C14 THERMO	10/2008
Zarra	ES0012	Automática	Microbalanza oscilante TEOM y cromatografía de gases		
Víznar	ES0007	Manual	Gravimetría y cromatografía iónica		

Fig. 15.- Código, tipo de medida, técnica de análisis para el PM10, modelo y fecha de instalación para cada una de las estaciones^{44,53}.

Zona Objetivo	Técnica de evaluación	Nº estaciones	Nombre estación	P. contaminantes	P. Meteorológicos	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (m)
Norte de la región de Murcia	Estación fija y campañas de medida discontinuas	2	Unidad móvil	NO, NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM ₁	TMP, HR, VV, DD			
			Caravaca	NO, NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM ₁₀	TMP, HR, PRB, RS, VV, DD	38.1146	-1.8686	672
Norte de la región de Murcia	Estación fija de medida automática	1	Lorca	NO, NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM ₁	TMP, HR, RS, VV, DD	37.6889	-1.7011	340
Litoral – Mar Menor	Estación fija y campañas de medida discontinuas	2	La Aljorra	NO, NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM ₁₀ , SO ₂	TMP, HR, PRB, RS, VV, DD	37.6936	-1.0647	80
			Unidad Móvil	NO, NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM ₁	TMP, HR, VV, DD			
Valle de Escombreras	Estaciones fijas de medida automática	2	Alumbres	NO, NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM ₁₀ , SO ₂ , C ₆ H ₆ , C ₇ H ₈ , C ₈ H ₁₀		37.6033	-0.9133	60
			Valle Escombreras	NO, NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM ₁	TMP, HR, PRB, RS, VV, DD	37.5744	-0.9266	16
Cartagena	Estaciones fijas de medida automáticas	1	Mompean	NO, NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM ₁		37.6031	-0.9753	10
Murcia ciudad	Estaciones fijas de medida automática	2	Alcantarilla	NO, NO ₂ , NO _x , SO ₂ , PM ₁₀ , O ₃	TMP, HR, PRB, RS, VV, DD	37.9755	-1.2308	80
			San Basilio	NO, NO ₂ , NO _x , O ₃ , CO, SO ₂ , PM ₁₀ , C ₆ H ₆ , C ₇ H ₈ , C ₈ H ₁₀		37.9936	-1.1447	40
Valencia	Estaciones fijas de medida automática		Zarra	CO, PM _{2.5} , PM ₁₀ , O ₃ , NO, NO ₂ , NO _x , SO ₂	TMP, HR, PRB, RS, VV, DD	39.0861	1.1019	885
Granada	Estaciones fijas de medida manual		Víznar	PM _{2.5} , PM ₁₀ , O ₃ , NO, NO ₂ , NO _x , SO ₂	TMP, HR, PRB, RS, VV, DD	37.2383	3.4744	1265

⁵³ «vigilanciacontaminacionfondo2019-emep_tcm39-510613.pdf», https://www.miteco.gob.es/images/va/vigilanciacontaminacionfondo2019-emep_tcm39-510613.pdf.

Fig. 16.- Características principales de las estaciones de medida de la región de Murcia, así como de las estaciones de fondo rural de Zarra y Víznar^{44, 45, 54, 55}.

Uno de los problemas vinculado al método, es que, en el presente caso, las estaciones de referencia para la medición del fondo (Zarra y Víznar) se encuentran a una gran altitud. Mientras las estaciones de la región de Murcia tienen una altitud que rara vez supera los 100 metros, las estaciones de Zarra y Víznar tienen una altitud de 885 y 1265 metros sobre el nivel del mar, respectivamente. Esto supone un problema, ya que hay casos de episodios de intrusión de polvo africano donde el PM10 varía notablemente en función de la altura, incluso pudiendo acumularse en determinadas alturas, lo que haría que el método aplicado en estaciones como Mompean asociase PM10 en exceso al episodio de intrusión de polvo africano.

⁵⁴ «Avaluació de la Qualitat de l'Aire a la Comunitat Valenciana.pdf», <http://www.agroambient.gva.es/documents/20549779/169297850/ZONA+ES1010.+X%C3%9A+QUER+-+CABRIEL.+%C3%80REA+INTERIOR/d50c3bf2-f0d6-423a-a49b-56e44c830265>.

⁵⁵ «Cap6_Fondo_tcm30-183390.pdf», https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/Cap6_Fondo_tcm30-183390.pdf.

4.2 Análisis estadístico de los niveles de material particulado

4.2.1 Origen de los datos

Los datos del material particulado PM10 utilizados en este documento, se han obtenido a partir de diversas estaciones de medición situadas en la región de Murcia. Se trata de información pública y accesible en el siguiente enlace:

<https://sinqlair.carm.es/calidadaire/>

En la pestaña de “Red de Vigilancia”, se selecciona “Datos Red”. Posteriormente en la pestaña “Descargar datos” se pueden acceder a los datos, tanto por estación de medida como por contaminante.



Fig. 17.- Página web de la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del aire de la región de Murcia⁵⁶.

Los datos de episodios de intrusión de polvo africano se obtienen del Miteco (Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico):

<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/evaluacion-datos/fuentes-naturales/anuales.aspx>



Fig. 18.- Histórico de informes de los episodios naturales proporcionado por el MITECO⁵⁷.

⁵⁶ «Calidad del Aire de la Región de Murcia».

⁵⁷ «Histórico de Informes de Episodios Naturales», <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/evaluacion-datos/fuentes-naturales/anuales.aspx>.

En el momento de redactar este documento, se encuentran disponibles los documentos correspondientes desde el año 2009 al 2019. Los datos se pueden consultar tanto en el apartado “Informe de episodios naturales 20XX” como en el “Resumen final de los episodios naturales 20XX”. Los datos se presentan en el siguiente formato (una tabla para cada mes del año):

ENERO 2018

ENERO 2018									
	CANARIAS	SUROESTE	SURESTE	LEVANTE	CENTRO	NOROESTE	NORTE	NORESTE	BALEARES
COMBUSTIÓN BIOMASA				12-13	6-7 9 31			6 23-25	
EUROPEO SULFATOS									
AFRICANOS	1-4 16-17 19-22 27-31	29-31	29-31	28-31	29-31			6-7 29	8

Fig. 19.- Ejemplo de tabla con los episodios de intrusión de polvo africano proveniente de los informes del MITECO⁵⁸.

El mapa de España y Portugal queda dividido en 9 regiones como procede:



Fig. 20.- División del territorio español y portugués en 9 regiones diferentes para la correcta identificación de la zona afectada (fuente de la imagen: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino - España⁵⁹).

- Canarias.
- Suroeste: Andalucía occidental, sur de Extremadura.

⁵⁸ «Histórico de Informes de Episodios Naturales».

⁵⁹ «procedimiento-para-la-identificacion-de-episodios-naturales-de-pm10-y-pm2.5-y-la-demostracion-de-causa-en-lo-referente-a-las-superaciones-del-valor-limite-diario-de-pm10..pdf».

- Sureste: Andalucía oriental, Murcia.
- Levante: Comunidad Valenciana hasta el delta del Ebro.
- Centro: resto de Extremadura, Castilla la Mancha, Comunidad de Madrid, Castilla León.
- Noroeste: Galicia, Asturias, Noroeste de Castilla y León.
- Norte: Cantabria, País Vasco, La Rioja, Navarra.
- Noroeste: Aragón, Cataluña.
- Baleares.

Aquí una recopilación de los episodios de intrusión de polvo africano en nuestra región de estudio (Murcia, sureste).

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Enero	18	6-7 16-20	25-27		9-12		26-29	3-5	29-31	
Febrero	3 27	8-13		18-19	14-17	10-11	5-6 20-24	1 11-13 16-28	1 28	14-24
Marzo	2-3 17-24	5-11 14 23-26	16-17 23-26	3-5 17 22	11 18-21	19-20	15 30-31	3;12 15-20 26;30-31	1-5	17-19 24-27 29-30
Abril	5-7 10-15 28-30	2-10 13-20 28	26-27	14-19 26-27	1 10-19	7-18 21-25	6-7 14-15 18-19	13-26	2;4-7 19-28	17 22
Mayo	19 21-23	7 10-18 27-31	10-18 26-28 30-31	7-8	7-21	2-4;10-14 18-19; 27-31	3-7 10 18-28	3-5;8 15-18 21-31	6-7;10 17-18 23-27	2-3 7 16
Junio	2-3;7 24-25 28-30	22-30	1-3 14-20 23-30	4-6 14-17	5-20	1-13 22-26 29-30	2-3 6-11 21-30	1-5 8-27	2;9 22-30	4;8-9 13-18 22-30
Julio	1-11 17-25 28-31	1-3;9-12; 21-23; 29-31	3-4;7-11 13-14; 16-17 20;25-31	1-4;9-17; 19-27;31	15-19 24-29	1-23 28-31	1-14 18-31	3-19 22-23 25;30-31	1-4;7-15 17-20;23- 28	1-8 10-25 31
Agosto	1-2;7-13 15-16;20- 23 26-31	1-5 9-25 28-31	1-5 7-23 28-29	1-7 12-14 19-24	9-10 18-19	1-12 20-22 26-31	1-4 14-18 26-31	1-8 14-31	1-20 25-31	1-11; 13- 15 18; 20-22 28-31
Septiembre	1;6 13-15; 19- 20 22-23	1 15-18 21-24	6-12 18-23	5-15 25-28	1-4;16 20-22 30	1-2 12 19-22	1-8;12 24-26 29-30	1-7 22-29	1-22	13-21 29-30
Octubre	2-3 6-9	23	5-10 17-19	3-4 18-22 25-29	1-12;18-22 26-28	4-5 17-18	1-10 16-28	13-18	7-14 20-24	1; 12-14 27-29
Noviembre	5-6	1-2 12-14 20	8-9 14-16 24-26		20-26	21	2-5 30	1-3 23-28	12-17	2
Diciembre	5-14 29-30			12-15	12-13 27-28	5-6 12-25 27-30	1-2 23-24	10		6-8 16 26-27

Fig. 21.- Historial de episodios de intrusión de polvo africano desde 2010 hasta 2019.

Dichos datos no corresponden a predicciones de episodios de polvo africano, sino a episodios ya ocurridos y confirmados, tal y como se explica en los informes adjuntos en la página web del MITECO. En dicha web también aparecen a partir de 2018 los datos disponibles de las estaciones de fondo rural, necesarias para estimar la aportación de la contribución de polvo africano. Para el año 2018 existe el apartado “PM10 – Descuentos todas estaciones 2018”, y lo mismo ocurre aplicado al 2019 (Fig 11). En dicho apartado, aparece un Excel con los datos de las estaciones de fondo rural y los descuentos ya calculados, sin embargo, en el presente caso, los descuentos proporcionados por el MITECO para la estación de Zarra no son aplicables a nuestra región de estudio, ya que a la estación de Zarra se aplican los episodios de intrusión de polvo del levante, mientras que Murcia está catalogada como perteneciente a la región del sureste.

	Zarra PM10	Morella PM10	El Pinós PM10		Zarra PERC40	Morella PERC40	El Pinós PERC40		Zarra Descuento	Morella Descuento	El Pinós Descuento
25/01/2018	8	4			4	1	3				
26/01/2018	1				4	1	3				
27/01/2018	5	2			4	1	5				
28/01/2018	7	6			4	1	4	3	5		
29/01/2018	9	9			4	1	5	5	8		
30/01/2018	10	6			4	1	7	6	5		
31/01/2018	12	1	11		4	1	6	8	0	5	
01/02/2018	9	1	15		4	1	4	5	0	11	
02/02/2018	2	1			4	1	4				
03/02/2018	4	1			4	1	4				
04/02/2018	3	1			4	1	4				

Fig. 22.- Visualización de los datos proporcionados por el MITECO⁶⁰ sobre las estaciones de fondo rural. En la imagen se puede apreciar que el valor de descuento para el día 28/01/2018 no es aplicable para la región de Murcia, ya que ese día no está declarado como día con episodio de polvo africano (Fig 21).

E incluso aunque coincidan todos los días de intrusión de la región, el descuento puede coincidir o no con el proporcionado en el Excel del MITECO. Esto se explicará más detenidamente en el apartado 3.4 de este documento.

⁶⁰ «Histórico de Informes de Episodios Naturales».

4.2.2 Número de episodios de intrusión de polvo africano entre los años 2010 y 2019 en el sureste español.

A partir de los datos del MITECO [30], recopilados en la tabla de la Fig 14, se elabora una tabla con el número de días al mes en los que hay episodios de intrusión de polvo africano en el sureste del país (Murcia y Andalucía oriental).

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Enero	1	7	3	0	4	0	4	3	3	0
Febrero	2	6	0	2	4	2	7	17	2	11
Marzo	9	12	6	5	5	2	3	22	5	9
Abril	12	18	2	8	11	16	6	14	15	2
Mayo	4	15	14	2	15	15	17	19	10	4
Junio	8	9	18	7	16	20	18	25	11	18
Julio	24	13	19	23	11	27	18	22	23	25
Agosto	21	26	24	16	4	20	15	26	27	22
Septiembre	9	9	13	15	9	7	14	15	22	11
Octubre	6	1	9	12	20	4	23	6	13	7
Noviembre	2	6	8	0	7	1	5	9	6	1
Diciembre	12	0	0	4	4	20	4	1	0	6
Total	110	122	116	94	110	134	134	179	137	116

Fig. 23.- Frecuencia histórica del número de episodios para cada mes y año desde 2010 hasta 2019.

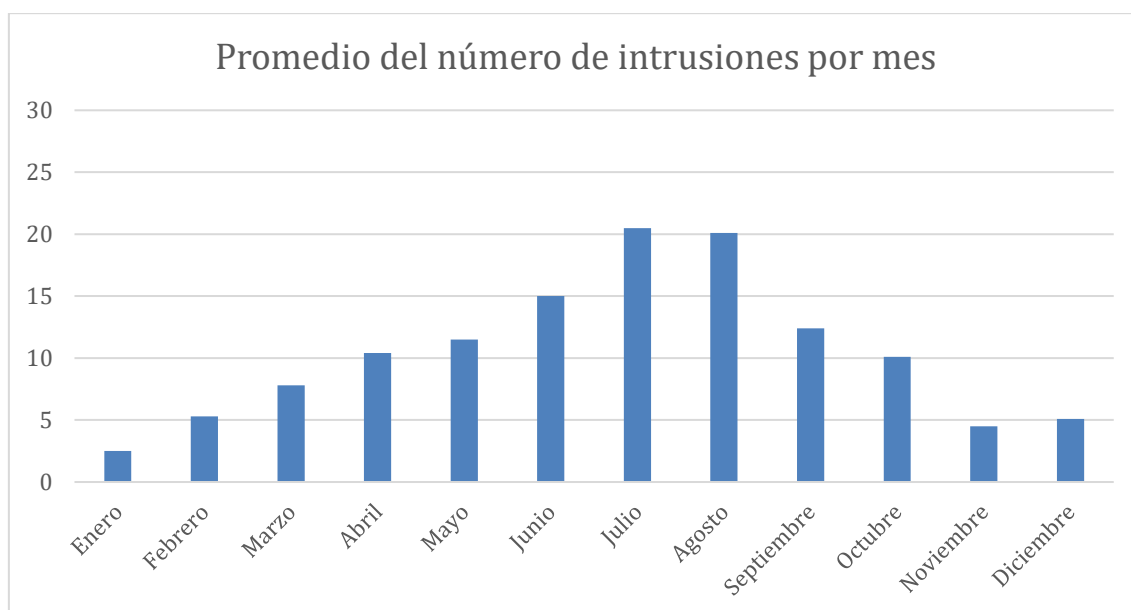


Fig. 24.- Valores mensuales promedio del número de intrusiones de polvo africano desde 2010 hasta 2019.

Tal y como se aprecia tanto en la tabla (Fig 23) como en el histograma (Fig 24), los meses donde hay más casos de intrusión de polvo africano tienden a ser julio y agosto, siendo en el 80% de los casos uno de estos meses el mes del año con más episodios de intrusión de polvo africano. Por otro lado, aunque pueda existir la idea de que los episodios de polvo africano son episodios puntuales aislados, el rango de días con episodios en nuestra muestra, oscila entre el 25% y el 50% de los días del año.

A continuación, se muestra el número de días al mes con episodios de intrusión de polvo africano para cada uno de los años en el rango 2010-2019:

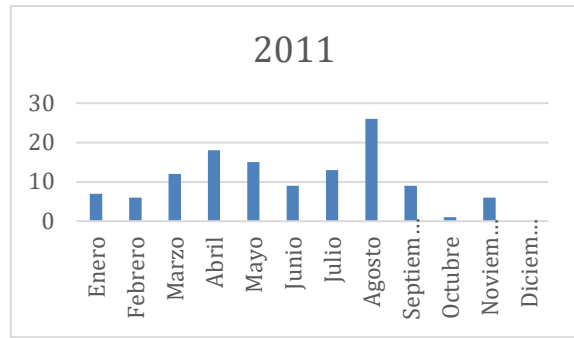
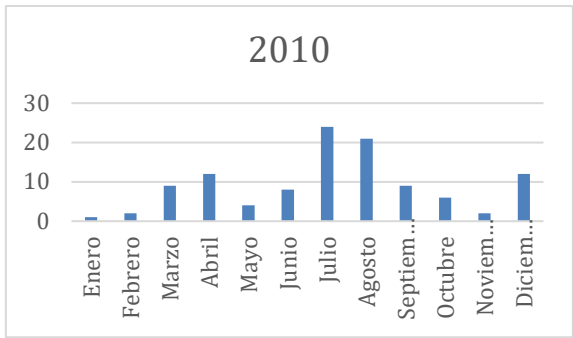


Fig. 25.- Número de casos mensuales de episodios de intrusión de polvo africano para los años 2010 y 2011 (izquierda y derecha respectivamente).

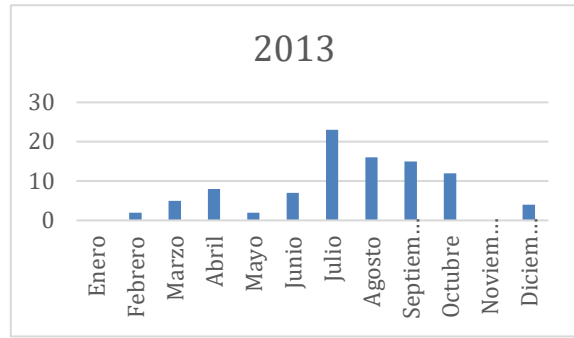
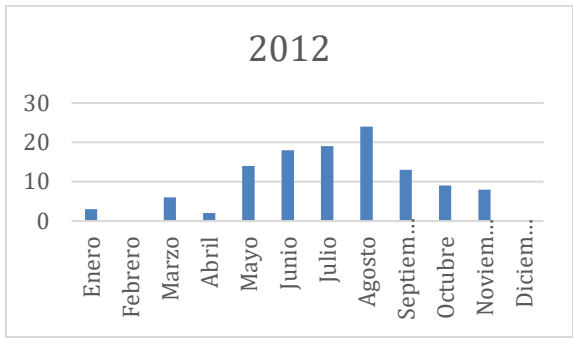


Fig. 26.- Número de casos mensuales de episodios de intrusión de polvo africano para los años 2012 y 2013 (izquierda y derecha respectivamente).

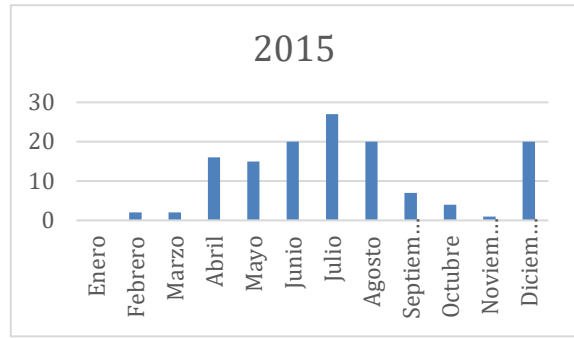
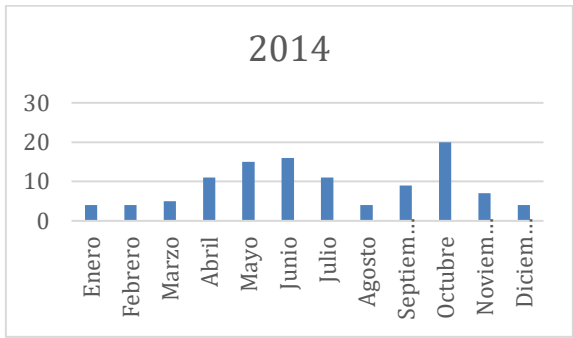


Fig. 27.- Número de casos mensuales de episodios de intrusión de polvo africano para los años 2014 y 2015 (izquierda y derecha respectivamente).

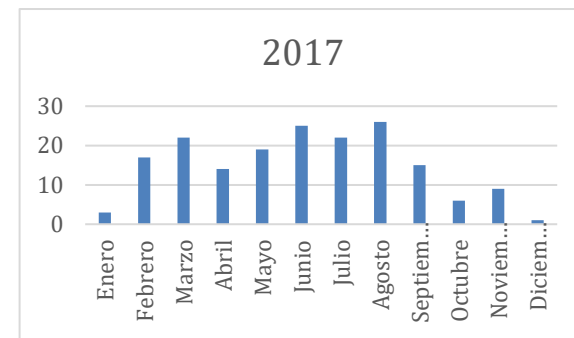
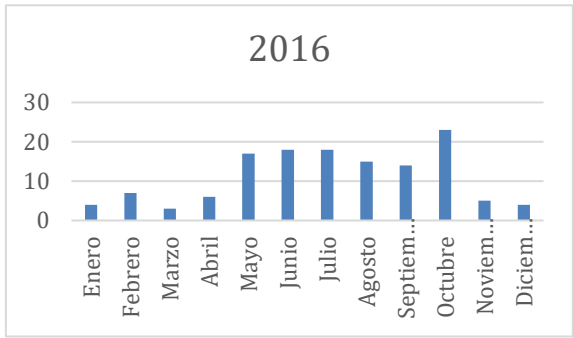


Fig. 28.- Número de casos mensuales de episodios de intrusión de polvo africano para los años 2016 y 2017 (izquierda y derecha respectivamente).

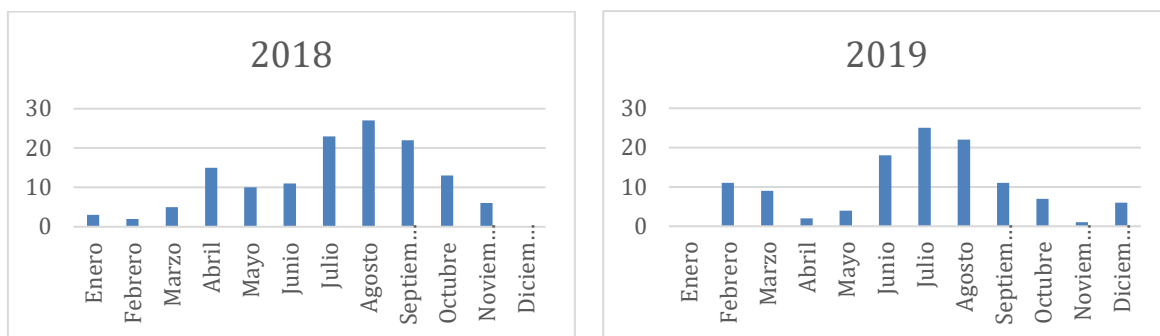


Fig. 29.- Número de casos mensuales de episodios de intrusión de polvo africano para los años 2018 y 2019 (izquierda y derecha respectivamente).

A priori, observando el histograma de la Fig 24, parece ser que hay una tendencia lenta ascendente durante los 7 primeros meses para luego tener una caída más brusca en los 5 siguientes meses. Observando los histogramas año a año, se puede ver que esto no sucede así para años individuales: para casi todos los casos, existen dos máximos relativos en el año en cuestión. El primer máximo relativo, se suele dar en torno a marzo-abril-mayo, y el segundo máximo relativo que también coincide con el máximo absoluto aparece en torno a julio-agosto-septiembre. En ambos picos, hay una enorme fluctuación de meses, pudiendo aparecer por ejemplo, el primer máximo relativo en junio y el segundo en octubre, tal y como sucede en 2014.

En las tablas de la Fig 30 y Fig 31 se recogen algunos resúmenes numéricos respecto al número de episodios mensual y anual respectivamente.

Valor máximo	27	Límite superior	34(>31)
Media	10.43	Q3	16
Desviación típica	7.73	Mediana	9
Valor mínimo	0	Q1	4
Nº datos atípicos	0	Límite inferior	(<0)

Fig. 30.- Resúmenes numéricos del número de episodios mensuales en el periodo 2010-2019 (ambos incluidos).

Valor máximo	179	Límite superior	170
Media	125	Q3	134
Desviación típica	23.1	Mediana	119
Valor mínimo	94	Q1	110
Nº datos atípicos	1	Límite inferior	74

Fig. 31.- Resúmenes numéricos del número de episodios anuales en el periodo 2010-2019 (ambos incluidos).

Aunque el número de episodios varía notablemente entre un año y otro, incluyendo variaciones en la periodicidad, se pueden apreciar que prácticamente no existen datos atípicos, destacando el hecho de que los episodios mensuales tienen cierta simetría, aunque con mucha dispersión (el coeficiente de dispersión de Pearson para los datos mensuales es 0.74 aprox).

4.2.3 Valores de concentraciones de PM10 medido en las diferentes estaciones

Dado que el método se va a aplicar en el periodo de años 2018-2019, en las Fig 32 y Fig 33 se muestran por separado los datos provenientes del periodo 2010 hasta 2019 incluidos (Fig 32) y los datos provenientes del periodo 2018 al 2019 (Fig 33).

	Alcantarilla	Lorca	San Basilio	La Aljorra	Alumbres	Mompean	Valle	Caravaca
Valor máximo	336.58	243.33	181.5	161.2	179.5	128.46	163.83	196.38
Media	23.02	23.99	31.87	27.77	21.68	24.47	22.88	15.76
Desviación típica	11.79	13.62	14.05	12.18	9.65	9.47	10.6	11.36
Valor mínimo	3.79	1	2	4.29	2.67	3.96	1	1.54
Nº datos	3402	3606	3320	3448	3549	3413	3487	3021
Nº superaciones	55	134	295	141	37	47	57	35
Límite superior	48.64	53.88	60.21	53.6	42.24	44.14	45.38	37.77
Q3	28.73	30.38	37.96	33.29	26.17	28.79	27.83	20.08
Mediana	21.75	21.38	29.29	25.88	20.17	23.46	21.04	13.33
Q1	15.46	14.71	23.13	19.75	15.46	18.56	16.13	8.29
Límite inferior	-4.45	-8.79	0.88	-0.56	-0.61	3.21	-1.42	-9.4
Nº datos atípicos	68	94	137	106	95	84	92	107

Fig. 32.- Resúmenes estadísticos en función de la estación de medida en el periodo comprendido entre 2010 y 2019. Unidades en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

	Alcantarilla	Lorca	San Basilio	La Aljorra	Alumbres	Mompean	Valle	Caravaca	Zarraca	Viznara
Valor máximo	82	78.67	75	87.23	55.29	64.13	85.08	64.83	45	75
Media	22.23	18.54	29.63	25.79	19.57	23.19	20.65	13.71	10	15.27
Desviación típica	10.17	10.73	12.04	11.26	8.08	7.92	9.19	8.61	6.19	11.36
Valor mínimo	4.21	2.5	6.29	5.58	2.71	3.96	1	2.5	1	1
Nº datos	722	710	558	699	730	713	638	728	716	664
Nº superaciones	8	10	43	24	3	8	11	3	0	8
Límite superior	48.83	42.9	56.71	52.45	37.96	41.15	39.14	34.77	25	43.5
Q3	28.23	23.84	35.36	31.63	23.63	27.29	24.48	18.13	13	21
Mediana	21	15.29	27.5	23.49	18.08	22.54	18.96	12.04	9	13
Q1	14.5	11.13	21.13	17.75	14.08	18.05	14.71	7.04	5	6
Límite inferior	-6.09	-7.94	-0.22	-3.07	-0.24	4.19	0.06	-9.59	-7	-16.5
Nº datos atípicos	10	28	18	18	26	23	24	13	15	19

Fig. 33.- Resúmenes estadísticos en función de la estación de medida en el periodo comprendido entre 2018 y 2019. Unidades en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

En el Anexo I se muestra el estudio de la estadística descriptiva de las medidas de PM10, en profundidad, teniendo en cuenta para cada estación, su evolución anual, su influencia con la

presencia o ausencia de episodios de polvo africano mediante una tabla ANOVA, el día de la semana, el día de la semana y la hora del día simultáneamente; y el mes del año.

En términos generales, se pueden destacar lo siguiente sobre las estaciones de medición de la región de Murcia:

- Las estaciones que presentan una media muestral más baja son las estaciones de medición de fondo rural, y la que más, San Basilio (única estación de medición de tráfico).
- La estación de medición urbana (Mompean) y las estaciones de medición de tipo industrial dan valores muy próximos entre sí: la media muestral de Mompean se sitúa por encima de la mayoría de las medias muestrales de las estaciones de tipo industrial, sin embargo, los valores pico de las zonas industriales son claramente mayores, lo que podría ser debido a que sean generados allí en situaciones puntuales de alta emisión de partículas (sistemas de emergencia, evacuación de gas, fugas...).
- La influencia del tráfico es un factor para tener en cuenta en la mayoría de las estaciones: al analizar la hora y el día de la semana se puede apreciar que hay un comportamiento periódico, con picos en torno a las 10 horas. Se puede apreciar que Caravaca, como estación de fondo, carece de influencia del tráfico.
- En algunas estaciones de medida no se aprecia si hay una tendencia decreciente o constante a lo largo del tiempo, pero en la mitad de ellas, parece haber una ligera tendencia decreciente.
- En todos los casos se ha aplicado un contraste de hipótesis (tabla ANOVA 1 factor: intrusión) y en todos ellos se rechaza la hipótesis nula $\mu_{\text{No-intr}} = \mu_{\text{Intr}}$, aceptándose como válida la hipótesis alternativa con menos de un 1% de riesgo: $\mu_{\text{No-intr}} < \mu_{\text{Intr}}$ (es decir, que el PM10 medido durante episodios de intrusión de polvo africano es significativamente mayor que el medido durante ausencia de episodios de intrusión de polvo africano).
- Aunque se presentan excepciones (como en San Basilio, donde el mes con mayor PM10 es diciembre), en general el mes con mayor PM10 se encuentra en torno a julio, mes que se encuentra entre los meses con más episodios al año.
- En general, se toman medidas en más del 90% de los días del año, pero hay grandes periodos de ausencia de datos: por en la estación de Mompean en 2018, en San Basilio en 2018 y 2019. Hay que destacar que Caravaca no estuvo operativa ningún día del año de 2011.
- Todas las estaciones cumplen con la normativa en cuanto a los límites anuales, sin embargo, la estación de San Basilio supera en varios años el número de superaciones diarias permitidas.
- Al estudiar los días de la semana aplicando los contrastes dos a dos mediante el método de Scheffé al 95%, se aprecia que, en la mayoría de los casos, se agrupan los días con la distinción domingo vs no domingo. A medida que va disminuyendo la influencia del tráfico (observable en las gráficas por día de la semana y hora del día), estas categorías se van solapando hasta al caso de Caravaca, que, al ser una estación de fondo, los niveles de PM10 medidos en domingo son prácticamente idénticos a los medidos el resto de la semana.

4.3 Método percentil 40 móvil 15/30

En el apartado 2.5, a raíz de la metodología recogida en el “Procedimiento para la identificación de episodios naturales de PM10 y PM2,5, y la demostración de causa en lo referente a las superaciones del valor límite diario de PM10”, se ha mencionado superficialmente el procedimiento, en este apartado se explica en detalle.

El percentil es una medida de posición que indica, una vez ordenados los datos de menor a mayor, el valor de la variable que ocupa la posición correspondiente al producto del percentil (en porcentaje) y el número de datos. Así, por ejemplo, dado un conjunto A con 30 datos, se obtendría el percentil 40 (el percentil tiene que ser un número comprendido entre 0 y 100) ordenando los datos de A de menor a mayor y buscando la 12ª posición, ya que $30 \cdot 40 / 100 = 12$. En ocasiones, esa posición quedaría entre 2 números, por lo que sería necesario interpolar.

El método exige aplicar el percentil 40 con 30 datos, ocupando el día de referencia la posición 15. Por ejemplo, si se dispusiesen de valores diarios y se quisiese calcular lo descrito en la línea anterior utilizando como día de referencia el 15 de febrero de 2018, el conjunto de datos iría desde el 1 de febrero al 2 de marzo, ambos incluidos. El día 16 de febrero, tendría un conjunto asociado desde el 2 de febrero al 3 de marzo; el día 17 de febrero tendría un conjunto asociado desde el 3 de febrero al 4 de marzo y así sucesivamente. El conjunto de datos obtenidos a partir del percentil 40 móvil tendría muy poca influencia de datos atípicos (ausencia de ruido blanco), motivo por el cual, se puede utilizar como aproximación al PM10 de fondo.

Según la metodología del apartado 2.5, para una estación de referencia, se tienen que obtener las dos estaciones de fondo rural más cercanas. Por ejemplo, siendo Mompean (región de Murcia) nuestra estación de referencia, la primera estación de fondo rural por cercanía se encontraría en Zarra y la segunda en Víznar. A partir de los valores medidos en Zarra y Víznar, se podrían obtener sus percentiles 40 móviles (15/30). Considerando que se disponen de los vectores M, Z y V de dimensiones $n \times 1$ (siendo n un número natural), correspondientes a valores diarios de PM10 medido en las estaciones de Mompean, Zarra y Víznar respectivamente; Z40 y V40 vectores de dimensiones $n \times 1$ correspondientes al percentil 40 móvil 15/30 provenientes de las estaciones de Zarra y Víznar respectivamente y el vector I, un vector de dimensiones $n \times 1$ formado por unos y ceros en función de la presencia o ausencia de episodios de intrusión de polvo africano; se podría obtener el vector estimación de la concentración de PM10 medido en Mompean sin contribución de polvo africano (dicho vector se denominará S) como procede:

- Si para un día P, $I(P)=0$, significa que no hay intrusión de polvo africano, por lo tanto, el vector de la concentración de PM10 medido en Mompean sin contribución de polvo africano, corresponde a la propia medida de PM10 Mompean: $S(P) = M(P)$.
- Si para un día P, $I(P) = 1$ y $Z(P) < Z40(P)$, significa que hay intrusión de polvo africano, pero el PM10 de fondo es superior al medido ese día en Zarra: es decir, a pesar de que hay un episodio de intrusión de polvo africano, el PM10 medido dicho día disminuye, con lo cual, se considera que el incremento de PM10 debido al episodio es nulo: $S(P) = M(P)$.

- Si para un día P, $I(P) = 1$, $Z(P) > Z40(P)$ y $M(P) > Z(P) - Z40(P)$, significa que hay episodio de polvo africano, hay un incremento del PM10 respecto al de fondo ($Z(P) > Z40(P)$) y este incremento es menor al PM10 medido en Mompean. En este caso, $S(P) = M(P) - (Z(P) - Z40(P))$. Por ejemplo, dicho día con episodio de intrusión de polvo africano para un PM10 medido en Mompean de $52\mu\text{g}/\text{Nm}^2$, un PM10 en Zarra de $36\mu\text{g}/\text{Nm}^2$ y un PM de fondo en Zarra (percentil 40 móvil 15/30) de $20\mu\text{g}/\text{Nm}^2$; la estimación de incremento de PM10 debida al episodio sería $36 - 20 = 16\mu\text{g}/\text{Nm}^2$. El valor resultante en Mompean sin contribución de PM10 debido al episodio sería $52 - 16 = 36\mu\text{g}/\text{Nm}^2$. Este es el caso ideal esperable y el más frecuente durante episodios de intrusión de polvo africano.
- Si para un día P, $I(P) = 1$, $Z(P) > Z40(P)$ y $M(P) < Z(P) - Z40(P)$, significa que hay episodio de polvo africano, hay un incremento del PM10 respecto al de fondo ($Z(P) > Z40(P)$) y este incremento es superior al PM10 medido en Mompean, lo cual implicaría que al quitarle la contribución de polvo africano al valor de Mompean, se obtendría un resultado negativo (incoherente). Por ello el método establece dos alternativas de cálculo para sustraer la contribución de polvo africano:
 - Dado que puede ser que Zarra (la 1ª estación de fondo más cercana) esté midiendo rachas de PM10 que no se puedan medir en zonas industriales o urbanas (Mompean), el incremento debido al episodio de intrusión de polvo será el incremento promedio medido en Zarra (1ª estación más cercana) y Víznar (2ª estación más cercana).
 - Si $V(P) < V40(P)$, significa que Víznar no está midiendo ningún incremento del PM10 (el valor que mide es menor al PM10 de fondo), por lo tanto, el incremento promedio entre Zarra y Víznar será: $\frac{Z(P) - Z40(P)}{2}$. Por lo tanto:

$$S(P) = M(P) - \frac{Z(P) - Z40(P)}{2}$$
 - Si $V(P) > V40(P)$, entonces sí hay un incremento del PM10 en Víznar, con lo cual, el incremento promedio entre Zarra y Víznar será: $\frac{Z - Z40 + V - V40}{2}$. Por lo tanto:

$$S(P) = M(P) - \frac{Z(P) - Z40(P) + V(P) - V40(P)}{2}$$
 - Si aún así, el incremento de PM10 promedio entre Zarra y Víznar es superior a la medida de PM10 de nuestra estación de referencia (Mompean) significa que puntualmente el incremento de PM10 debido al episodio de intrusión de polvo africano es mucho menor en Mompean que al promedio entre Zarra y Víznar. En ese caso, la alternativa que propone el método es estimar la contribución PM10 por episodio de polvo africano utilizando exclusivamente las mediciones de Mompean (nuestra estación de referencia), a partir del percentil 40 móvil 15/30 de Mompean excluyendo todos aquellos días donde hubo un episodio de intrusión de polvo africano.

$$S(P) = M(P) - M40(P)*$$

Debido a que este último método requiere una evaluación amplia de los datos para realizarse (ya que se necesita ir evaluando días, comprobando si en dichos días

había episodio de polvo africano o no, y parar hasta contar 15 días antes y después del día de referencia), realizar el procedimiento en Excel es poco práctico (a no ser que se utilicen extensiones de Excel que sí permitan el uso de bucles).

Al proceso de cálculo, hay que añadirle la presencia de datos ausentes. Por motivos ajenos a la resolución, alguna de las medidas realizadas puede fallar y que no se disponga de tal valor (espacio en blanco en lugar de un valor numérico). Esto es algo que depende de la estación y sus condiciones, incluyendo las estaciones de fondo rural. Por ejemplo, entre los años 2010 y 2019, el 7% de los datos de Mompean fueron datos ausentes. Aplicado a nuestro ejemplo numérico, puede darse el caso de que $M(P)$, $Z(P)$, $Z40(P)$, $V(P)$ o $V40(P)$ sea un dato ausente o varios simultáneamente. Matemáticamente podrían aplicarse métodos de interpolación para estimar valores, pero esto sería un grave error debido al carácter errático de las medidas (nada garantiza que el valor desconocido sea un valor intermedio) y, por otro lado, el método no especifica nada al respecto, por lo tanto, si hay datos ausentes que impiden calcular $S(P)$, éste será un valor ausente.

En ocasiones, un dato ausente implica que no se puede obtener el nivel de PM10 sin aportación de polvo africano ($S(P)$), en otras ocasiones, el dato ausente no influye. Por ejemplo, si $Z(P) = \text{null}$ (la medición de PM10 de Zarra el día P es un dato ausente), esto puede no influir si $I=0$ (ese día no hay episodio de intrusión de polvo africano, por ende $S(P) = M(P)$), o puede influir si $I=1$ (en este caso sin el valor de la medición de Zarra, $S(P)$ no se podría calcular, y $S(P) = \text{null}$). El código empleado para aplicar el método tiene que estar preparado ante la presencia de este problema. A continuación, en la Fig 34 se representa un flujograma teniendo en cuenta todas las operaciones lógicas para aplicar el método.

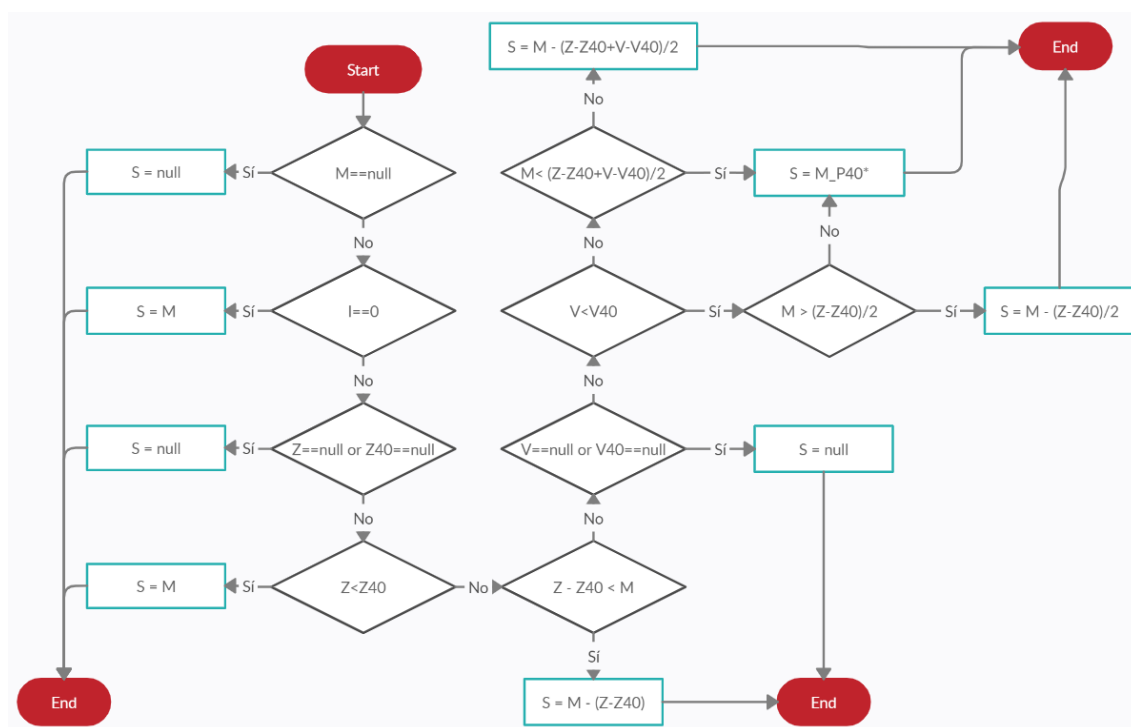


Fig. 34.- Flujograma del cálculo de S (medida en Mompean sin influencia de intrusión de polvo africano) a partir de M, Z, Z40, V, V40 e I.

El uso de este método y su normativa aplicable han comenzado a tener vigencia a partir de 2018, por lo tanto, sólo se utilizará para los años 2018 y 2019.

Cabe destacar que esta metodología, aunque sirva para sustraer la contribución de PM10 por episodios de intrusión saharianos para el conocimiento y estudio, a efectos de normativa sólo tiene validez en aquellos casos en los que se supere el límite diario y descontando la contribución de PM10 por efectos naturales no fuese así, con la debida justificación.

Percentil inclusivo en Excel y percentil Matlab

Por razones prácticas, la resolución del problema requiere de herramientas informáticas, sin embargo, en caso de utilizarse Matlab, debe tenerse en cuenta que éste realiza un cálculo del percentil ligeramente diverso del descrito anteriormente.

En Excel, el comando para el cálculo del percentil es PERCENTIL.INC(Matrix,k), siendo Matrix el conjunto de datos donde se aplica la operación y k el percentil en tanto por uno. La posición correspondiente a dicho percentil en un conjunto de datos de tamaño N sería:

$$Pos_1 = \frac{Perc}{100} \cdot N$$

En Matlab, sin embargo, la expresión para el cálculo es del percentil es:

$$Perc_{Matlab} = 100 \frac{Pos_2 - 0.5}{N}$$

Forzando a que la posición (Pos_1 y Pos_2) sean iguales y sustituyendo la primera ecuación la segunda se obtiene que:

$$Perc_{Matlab} = 100 \frac{\frac{Perc}{100} \cdot N - 0.5}{N} = Perc - \frac{50}{N}$$

De este modo, si se deseara calcular el percentil 40 en Matlab en un conjunto con 30 datos y obtener los mismos resultados que realizando la metodología descrita anteriormente, se debería ejecutar con el valor $115/3 \sim 38.333$ (resultado de $40 - 50/30$). Ejecutar el percentil 40 en Matlab daría como resultado un valor ligeramente distinto.

5. Resultados y discusión

5.1 Gráficas y resúmenes numéricos del método percentil 40 móvil 15/30 en las diferentes estaciones

En cada una de las gráficas se seguirá el mismo formato para representar los resultados de todas las estaciones: en línea azul se representan las medidas de PM10 (variable: datos originales); en marcadores rojos se representan los episodios de intrusión de polvo africano (variable: episodio), siendo 0 ausencia de episodio y distinto de 0 presencia de episodio; en línea verde se representan las medidas de PM10 tras los descuentos calculados por el método (variable: datos filtrados) y en línea naranja la concentración estima de PM10 debida al episodio de intrusión (variable: conc. Intrusión). Por motivos estéticos, se han dividido las gráficas anuales en gráficas cuatrimestrales (en gráficas anuales y en gráficas semestrales no se apreciaban bien los resultados).

Al final de cada subapartado se incluye una tabla con los resúmenes numéricos para ver la variación de los datos antes después del método.

5.1.1 Método percentil 40 móvil 15/30 aplicado en Alcantarilla

Alcantarilla año 2018

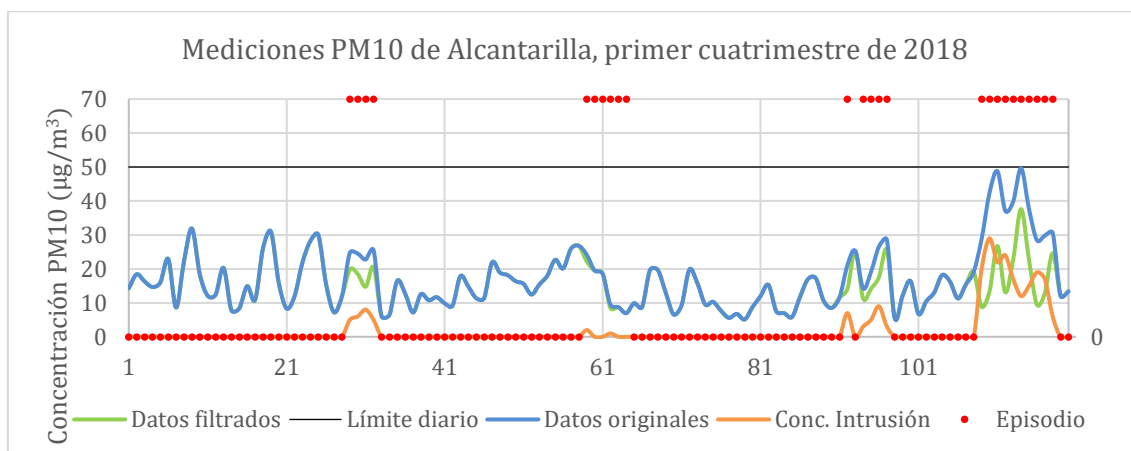


Fig. 35.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Alcantarilla el primer cuatrimestre de 2018: enero (del 1 al 31), febrero (del 32 al 59), marzo (del 60 al 90) y abril (del 91 al 120).

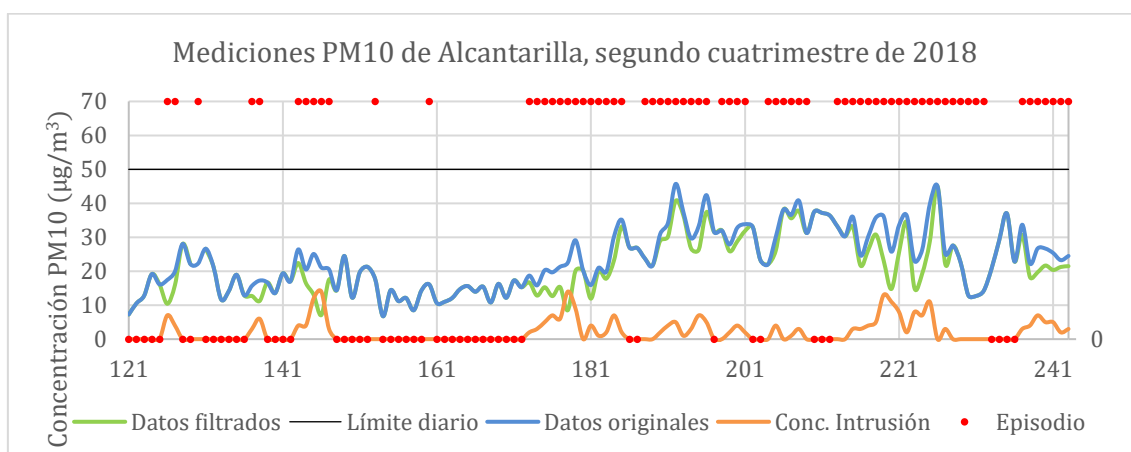


Fig. 36.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ de la estación de Alcantarilla el segundo cuatrimestre de 2018: mayo (del 121 al 151), junio (del 152 al 181), julio (del 182 al 212) y agosto (del 213 al 243).

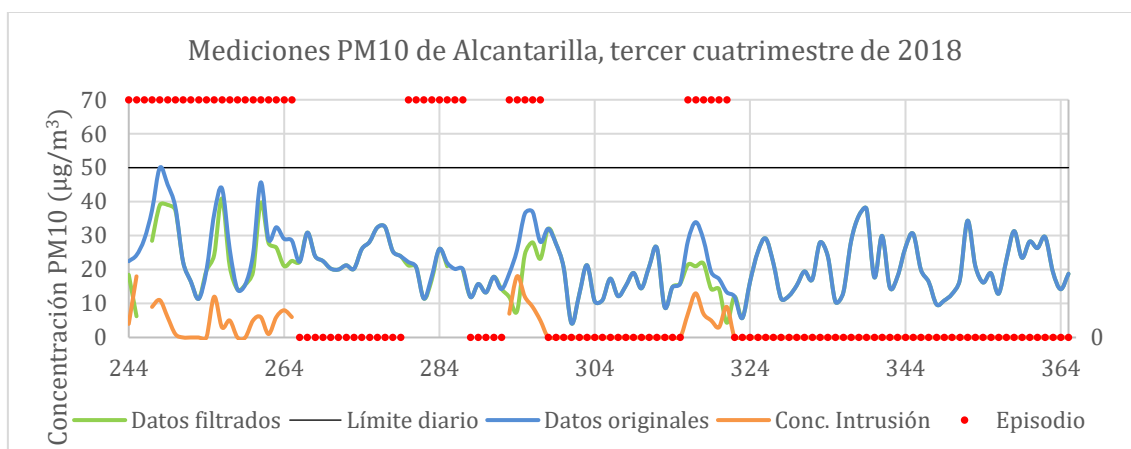


Fig. 37.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Alcantarilla el tercer cuatrimestre de 2018: septiembre (del 244 al 273), octubre (del 274 al 304), noviembre (del 305 al 334) y diciembre (del 335 al 365).

Alcantarilla, año 2019

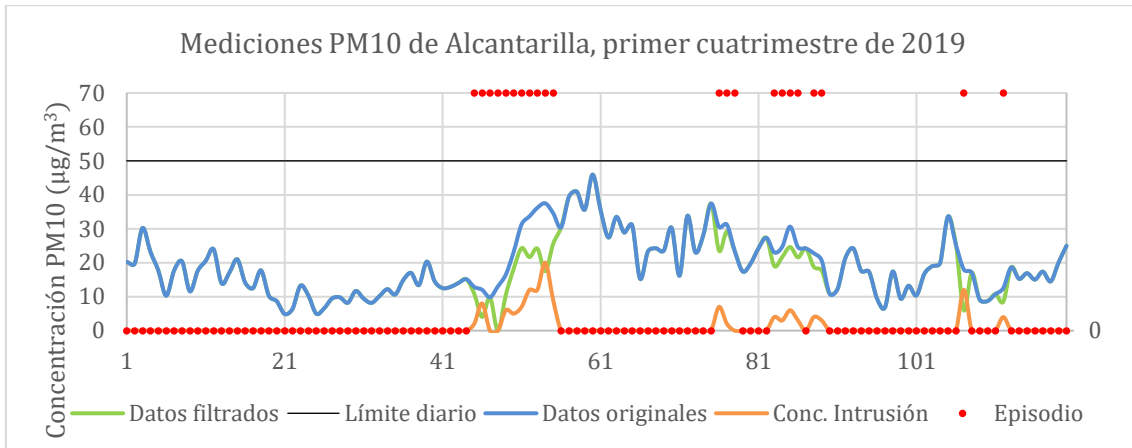


Fig. 38.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Alcantarilla el primer cuatrimestre de 2019: enero (del 1 al 31), febrero (del 32 al 59), marzo (del 60 al 90) y abril (del 91 al 120).

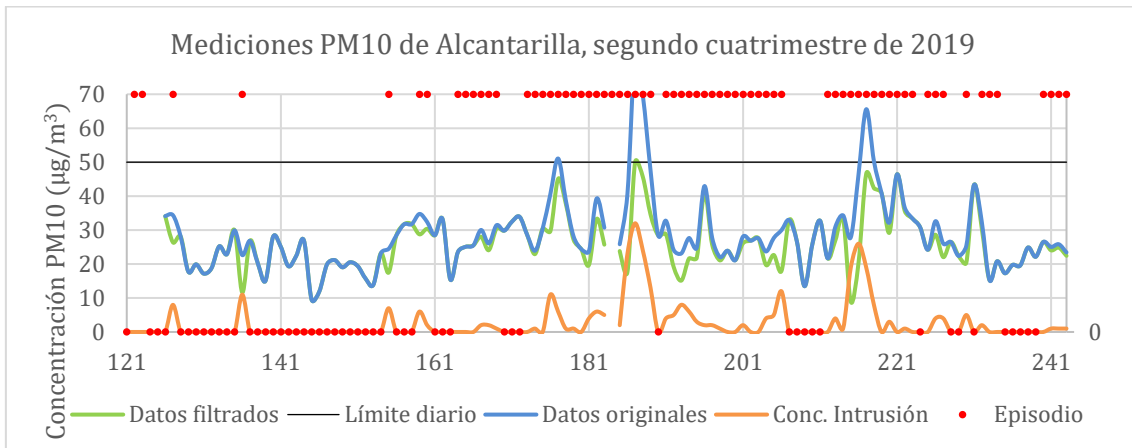


Fig. 39.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Alcantarilla el segundo cuatrimestre de 2019: mayo (del 121 al 151), junio (del 152 al 181), julio (del 182 al 212) y agosto (del 213 al 243).

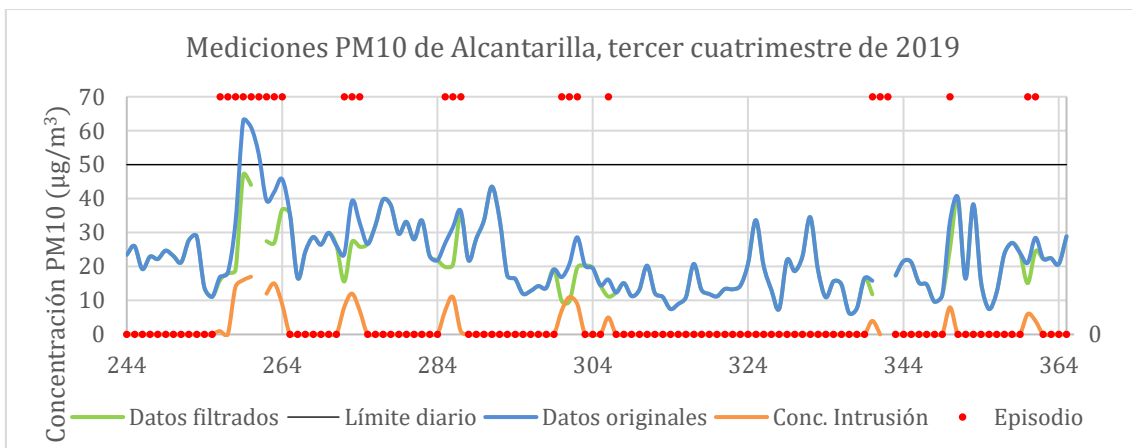


Fig. 40.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Alcantarilla el tercer cuatrimestre de 2019: septiembre (del 244 al 273), octubre (del 274 al 304), noviembre (del 305 al 334) y diciembre (del 335 al 365).

	2018			2019		
	Origin	Desc	Int. Polvo	Origin	Desc	Int. Polvo
Valor máximo	49.96	45	29	82	50	32
Media	20.92	18.96	5.25	23.56	21.72	5.82
Desviación típica	9.34	8.22	5.61	10.8	8.98	6.32
Valor mínimo	4.21	4.21	0	4.88	4.04	0
Nº datos	365	362	134	357	355	109
Nº superaciones	0	0		8	0	
Límite superior	46.75	40.09	16	50.58	45.09	18.5
Q3	26.77	23.62	7	29.47	27.05	8
Mediana	19.67	17.83	4	22.84	20.94	4
Q1	13.45	12.65	1	15.4	15.03	1
Límite inferior	<0	<0	<0	<0	<0	<0
Nº datos atípicos	3	3	9	7	6	7

Fig. 41.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Alcantarilla, desde 2018 a 2019. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

5.1.2 Método percentil 40 móvil 15/30 aplicado en Lorca

Lorca año 2018

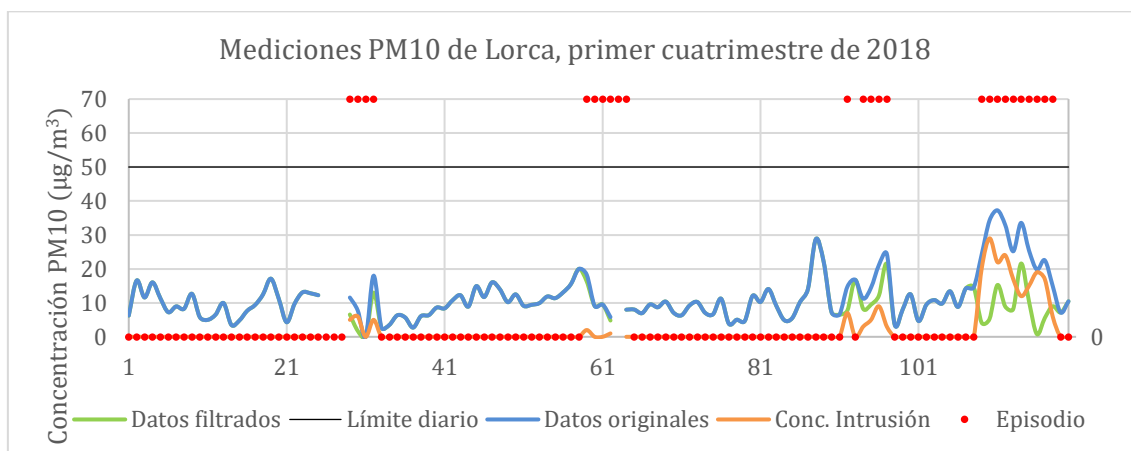


Fig. 42.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Lorca el primer cuatrimestre de 2018: enero (del 1 al 31), febrero (del 32 al 59), marzo (del 60 al 90) y abril (del 91 al 120).

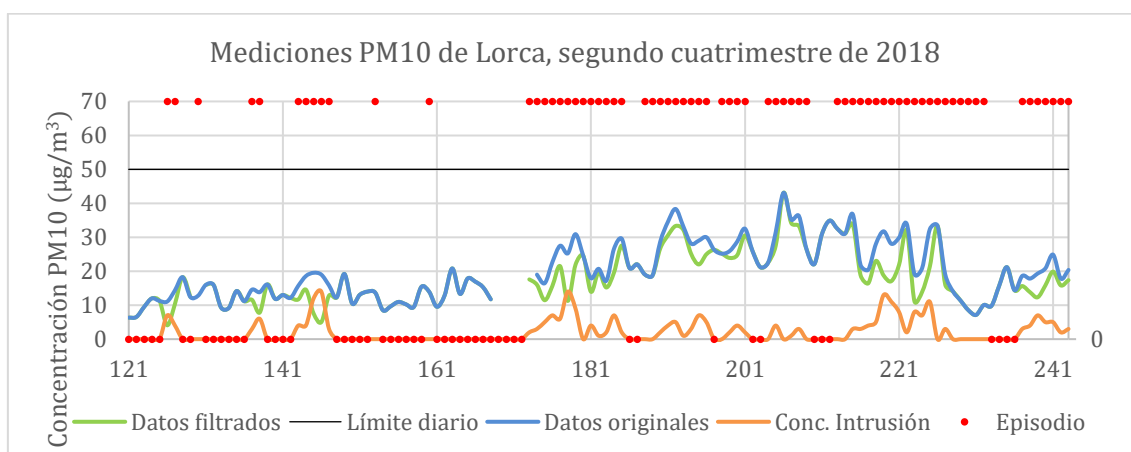


Fig. 43.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Lorca el segundo cuatrimestre de 2018: mayo (del 121 al 151), junio (del 152 al 181), julio (del 182 al 212) y agosto (del 213 al 243).

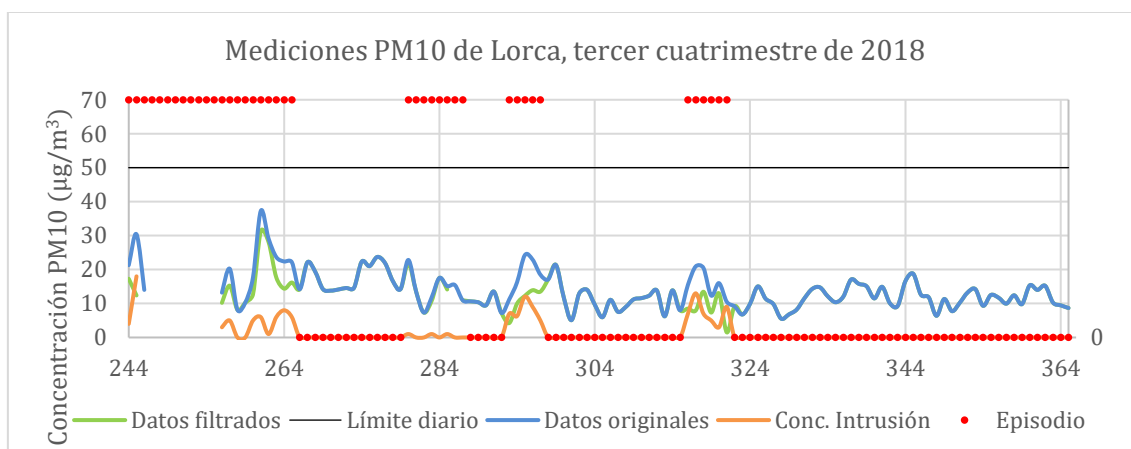


Fig. 44.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Lorca el tercer cuatrimestre de 2018: septiembre (del 244 al 273), octubre (del 274 al 304), noviembre (del 305 al 334) y diciembre (del 335 al 365).

Lorca, año 2019

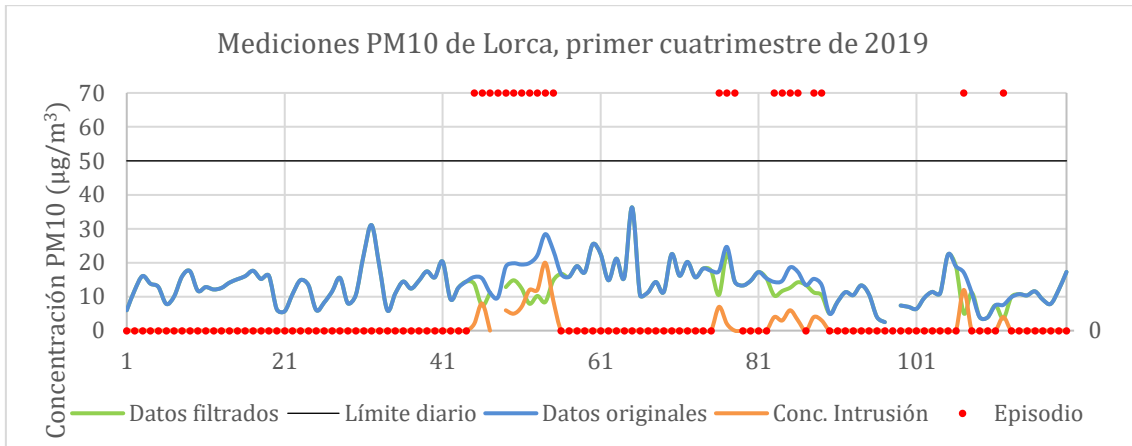


Fig. 45.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Lorca el primer cuatrimestre de 2019: enero (del 1 al 31), febrero (del 32 al 59), marzo (del 60 al 90) y abril (del 91 al 120).

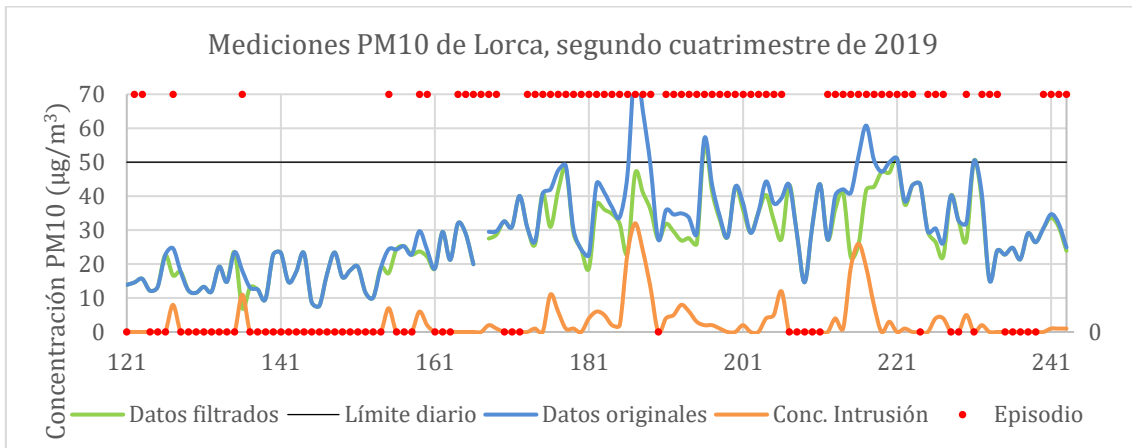


Fig. 46.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Lorca el segundo cuatrimestre de 2019: mayo (del 121 al 151), junio (del 152 al 181), julio (del 182 al 212) y agosto (del 213 al 243).

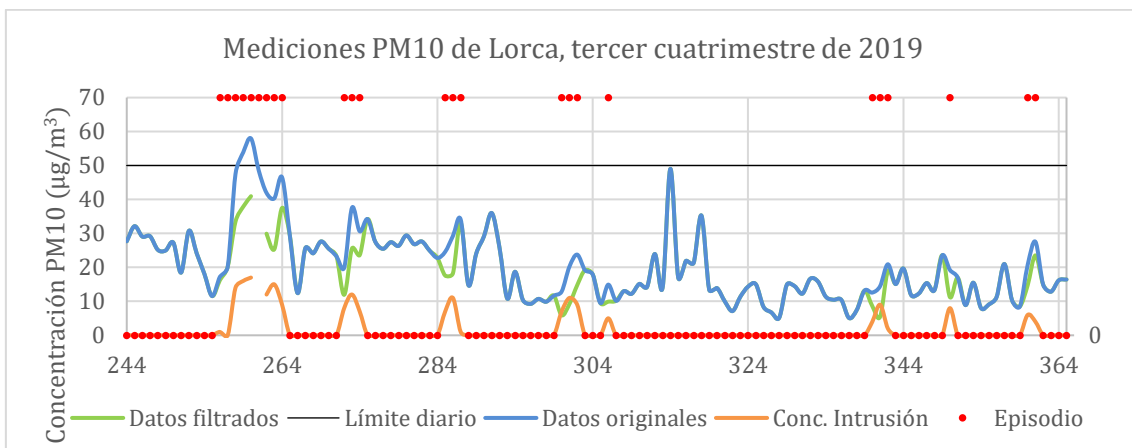


Fig. 47.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Lorca el tercer cuatrimestre de 2019: septiembre (del 244 al 273), octubre (del 274 al 304), noviembre (del 305 al 334) y diciembre (del 335 al 365).

	2018			2019		
	Origin	Desc	Int. Polvo	Origin	Desc	Int. Polvo
Valor máximo	43.08	43.08	29	78.67	55.08	32
Media	15.34	13.48	5.24	21.59	19.76	5.71
Desviación típica	7.82	6.8	5.56	12.16	10.45	6.27
Valor mínimo	2.67	0.79	0	2.5	2.5	0
Nº datos	347	344	123	363	361	113
Nº superaciones	0	0		10	3	
Límite superior	33.71	26.31	16	50.51	48.11	18.5
Q3	19.35	16	7	27.75	26.25	8
Mediana	13.54	12.17	4	17.98	16.65	4
Q1	9.78	9.13	1	12.58	11.67	1
Límite inferior	<0	<0	<0	<0	<0	<0
Nº datos atípicos	11	21	8	9	4	7

Fig. 48.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Lorca, desde 2018 a 2019. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

5.1.3 Método percentil 40 móvil 15/30 aplicado en San Basilio

San Basilio año 2018

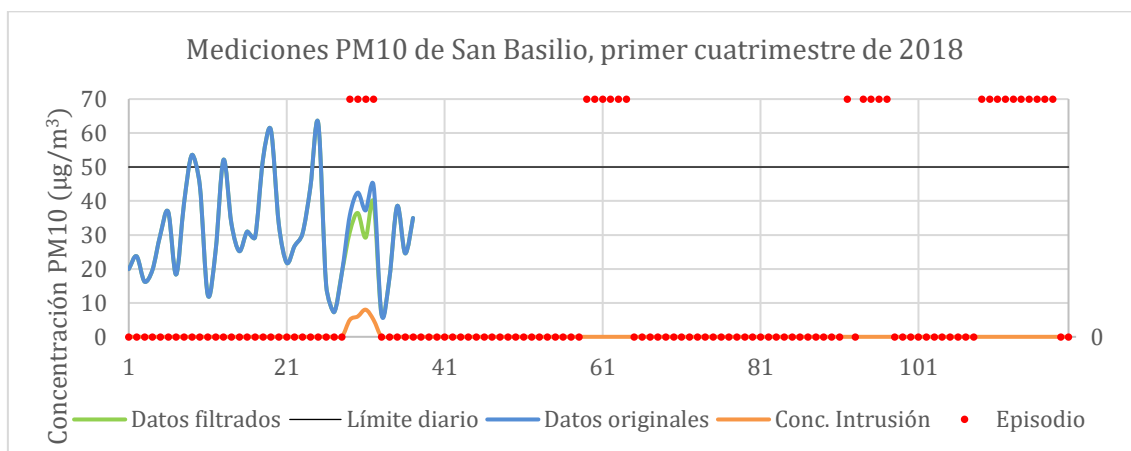


Fig. 49.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de San Basilio el primer cuatrimestre de 2018: enero (del 1 al 31), febrero (del 32 al 59), marzo (del 60 al 90) y abril (del 91 al 120).

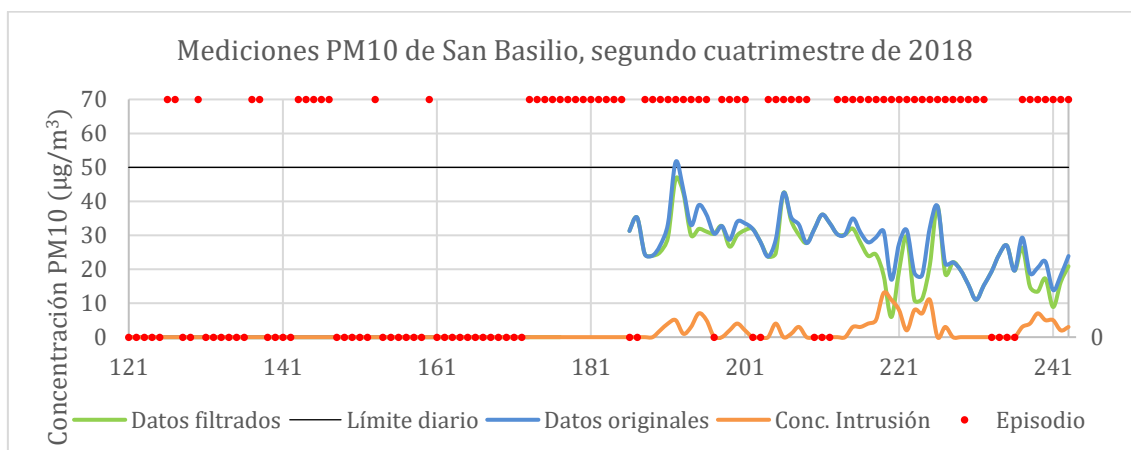


Fig. 50.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ de la estación de San Basilio el segundo cuatrimestre de 2018: mayo (del 121 al 151), junio (del 152 al 181), julio (del 182 al 212) y agosto (del 213 al 243).

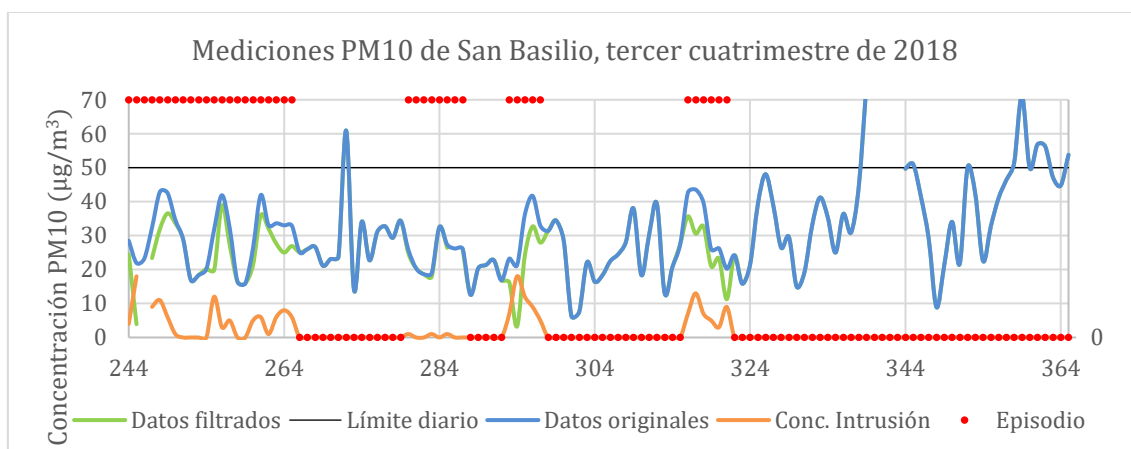


Fig. 51.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de San Basilio el tercer cuatrimestre de 2018: septiembre (del 244 al 273), octubre (del 274 al 304), noviembre (del 305 al 334) y diciembre (del 335 al 365).

San Basilio, año 2019

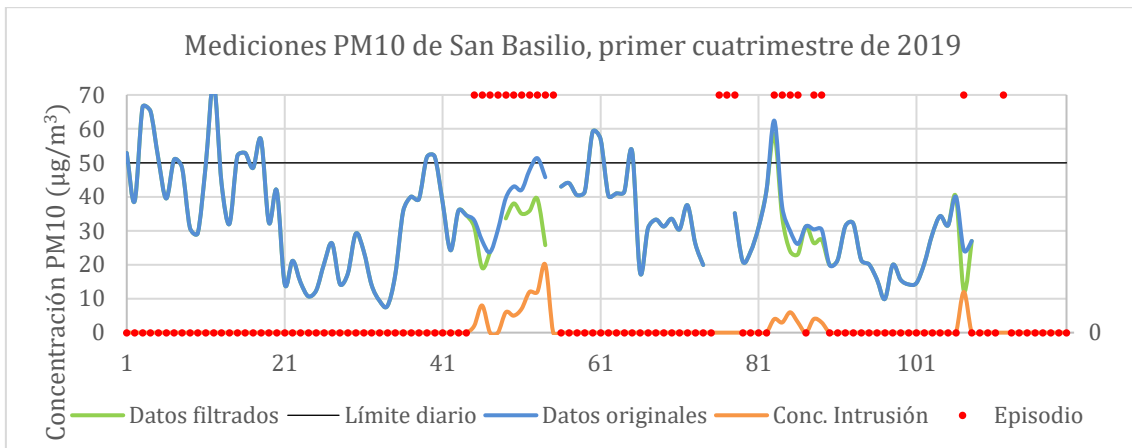


Fig. 52.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de San Basilio el primer cuatrimestre de 2019: enero (del 1 al 31), febrero (del 32 al 59), marzo (del 60 al 90) y abril (del 91 al 120).

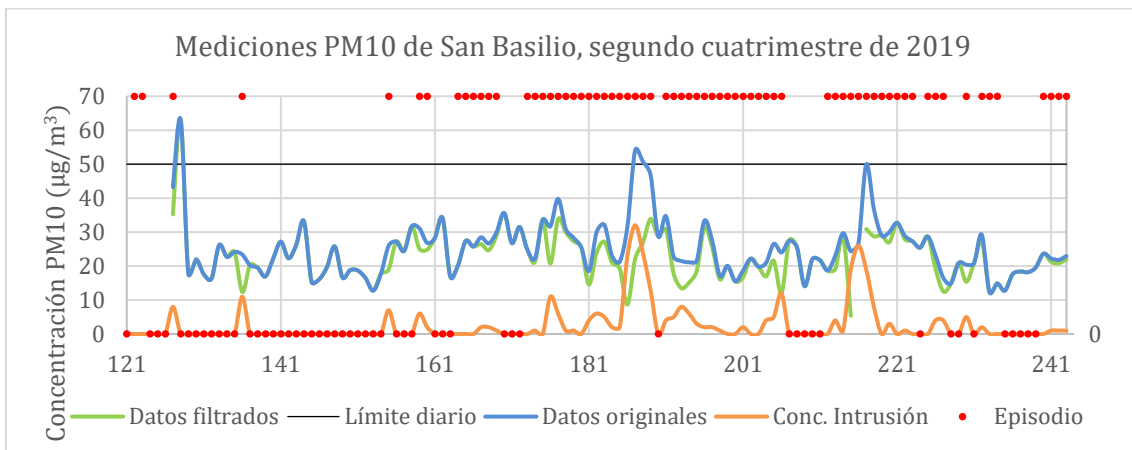


Fig. 53.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de San Basilio el segundo cuatrimestre de 2019: mayo (del 121 al 151), junio (del 152 al 181), julio (del 182 al 212) y agosto (del 213 al 243).

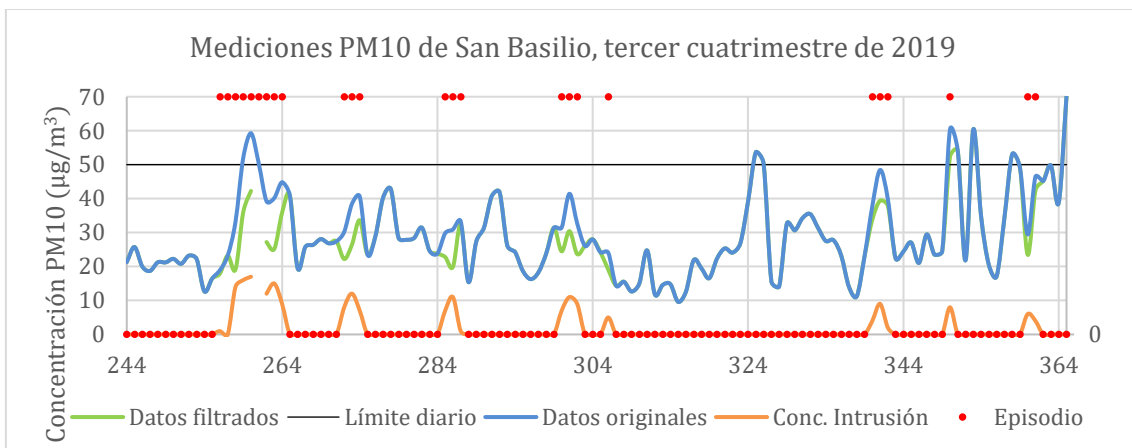


Fig. 54.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de San Basilio el tercer cuatrimestre de 2019: septiembre (del 244 al 273), octubre (del 274 al 304), noviembre (del 305 al 334) y diciembre (del 335 al 365).

	2018			2019		
	Origin	Desc	Polvo	Origin	Desc	Polvo
Valor máximo	75	75	18	73.71	73.71	32
Media	30.26	28.54	4.19	29.25	27.36	5.79
Desviación típica	11.82	12.24	4.16	12.18	11.78	6.36
Valor mínimo	6.29	3.25	0	7.83	0.75	0
Nº datos	213	211	89	345	343	108
Nº superaciones	14	13		29	23	
Límite superior	57.57	54.71	15	55.45	53.03	18.5
Q3	36.03	34.08	6	34.67	32.77	8
Mediana	29.33	27.09	3	26.81	25.25	4
Q1	21.67	20.33	0	20.81	19.26	1
Límite inferior	0.13	<0	<0	0.03	<0	<0
Nº datos atípicos	5	7	2	12	14	7

Fig. 55.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de San Basilio, desde 2018 a 2019. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

5.1.4 Método percentil 40 móvil 15/30 aplicado en La Aljorra

La Aljorra año 2018

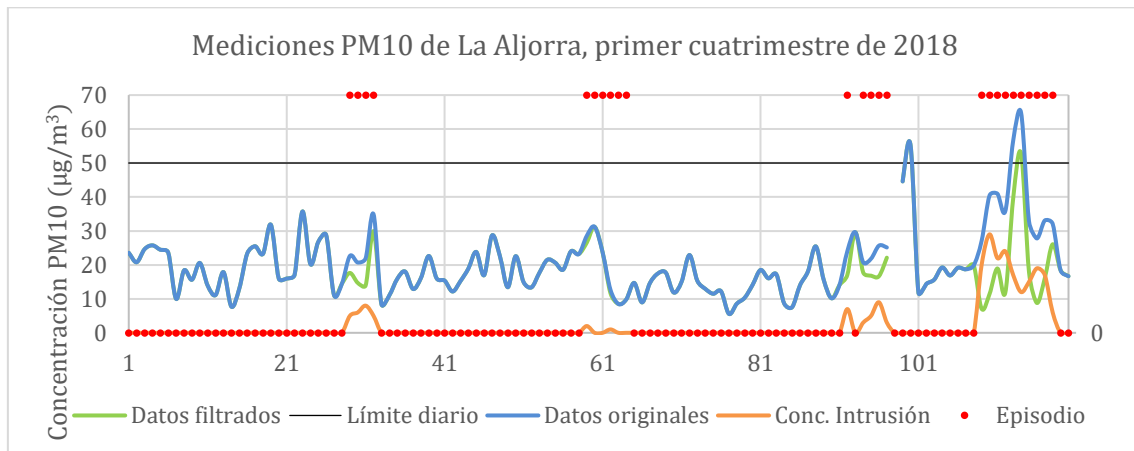


Fig. 56.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de La Aljorra el primer cuatrimestre de 2018: enero (del 1 al 31), febrero (del 32 al 59), marzo (del 60 al 90) y abril (del 91 al 120).

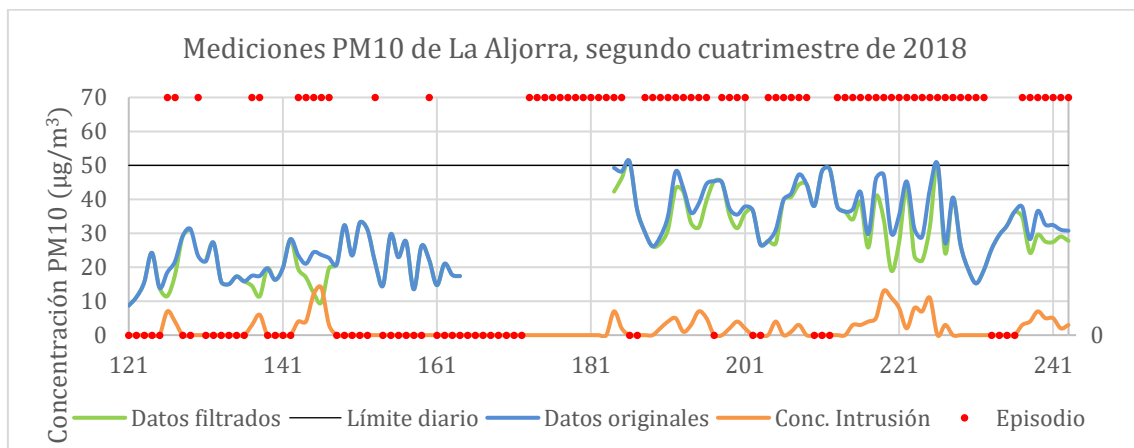


Fig. 57.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ de la estación de La Aljorra el segundo cuatrimestre de 2018: mayo (del 121 al 151), junio (del 152 al 181), julio (del 182 al 212) y agosto (del 213 al 243).

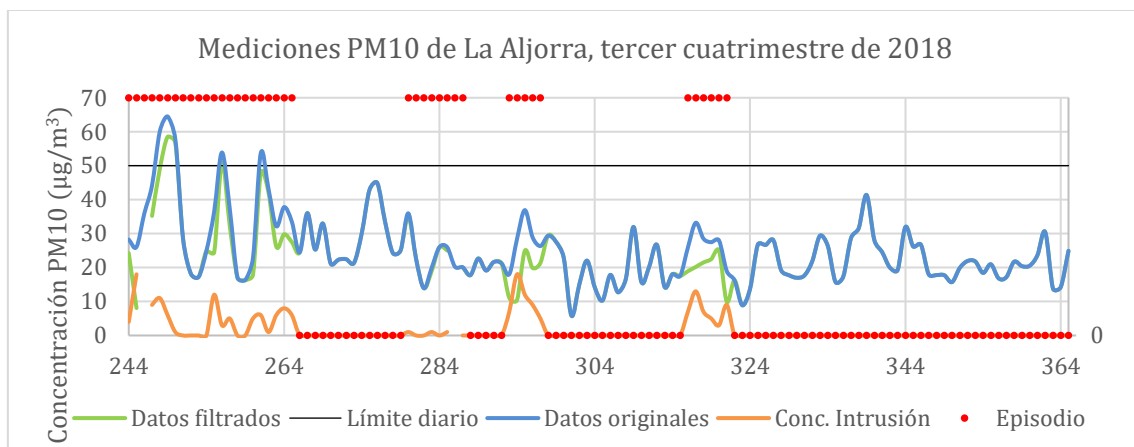


Fig. 58.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de La Aljorra el tercer cuatrimestre de 2018: septiembre (del 244 al 273), octubre (del 274 al 304), noviembre (del 305 al 334) y diciembre (del 335 al 365).

La Aljorra, año 2019

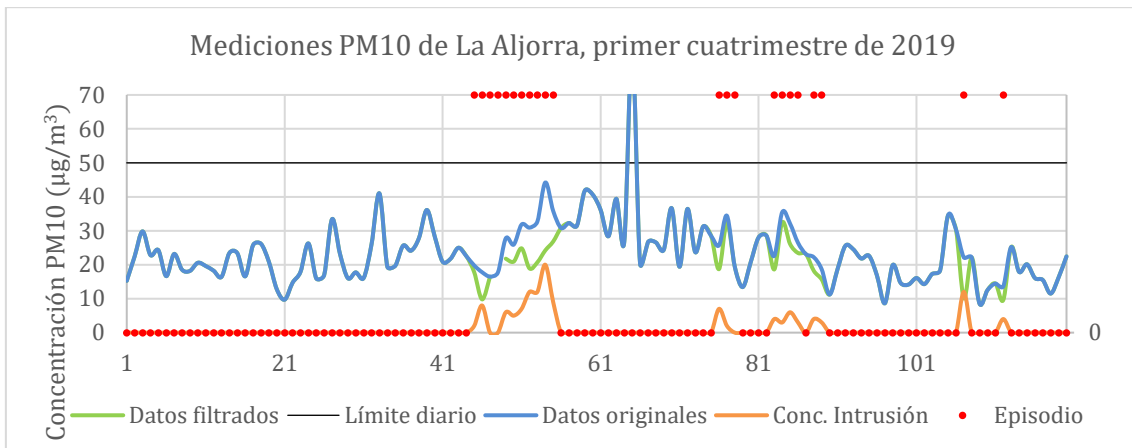


Fig. 59.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de La Aljorra el primer cuatrimestre de 2019: enero (del 1 al 31), febrero (del 32 al 59), marzo (del 60 al 90) y abril (del 91 al 120).

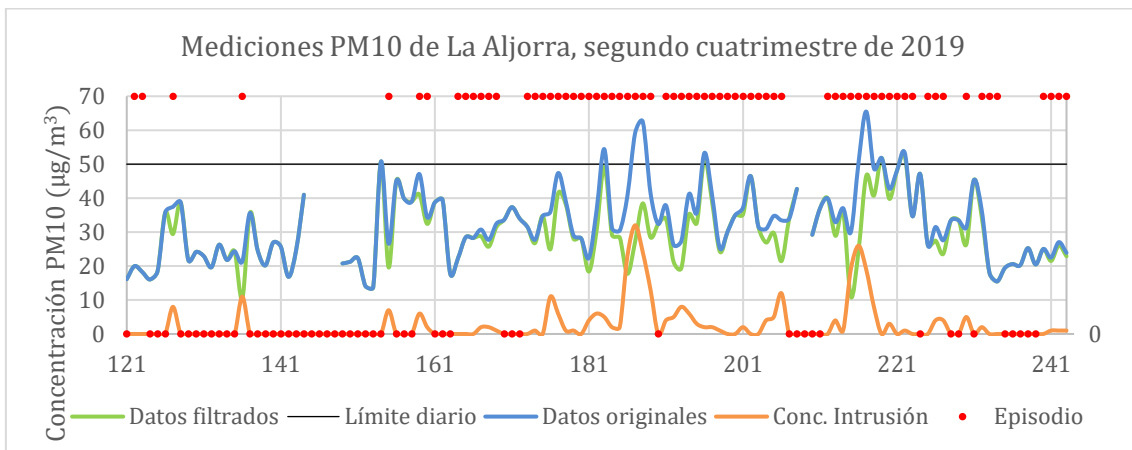


Fig. 60.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de La Aljorra el segundo cuatrimestre de 2019: mayo (del 121 al 151), junio (del 152 al 181), julio (del 182 al 212) y agosto (del 213 al 243).

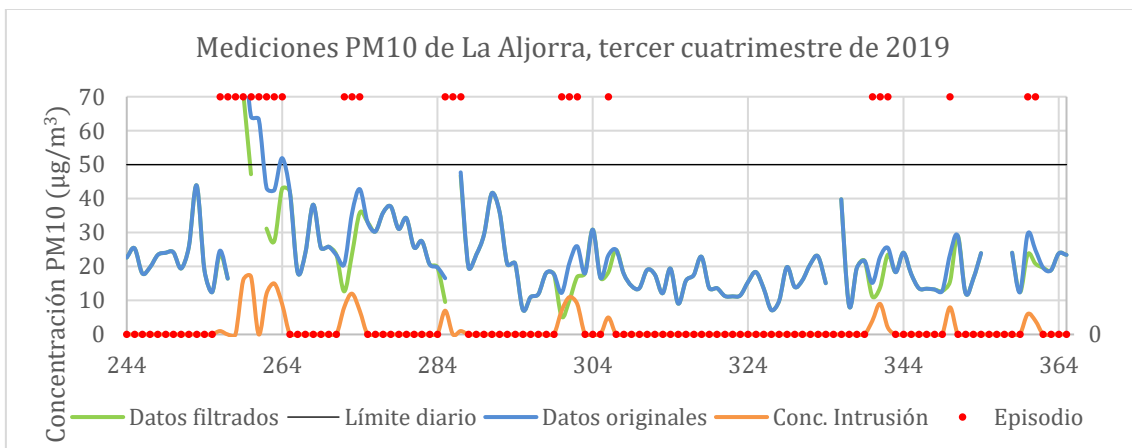


Fig. 61.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de La Aljorra el tercer cuatrimestre de 2019: septiembre (del 244 al 273), octubre (del 274 al 304), noviembre (del 305 al 334) y diciembre (del 335 al 365).

	2018			2019		
	Origin	Desc	Polvo	Origin	Desc	Polvo
Valor máximo	64.79	58.5	29	87.23	83.42	32
Media	25.02	23.11	5.28	26.53	24.68	5.55
Desviación típica	10.87	10.07	5.74	11.58	10.25	6.24
Valor mínimo	5.58	5.58	0	7.17	5.25	0
Nº datos	345	342	123	354	352	112
Nº superaciones	10	7		14	6	
Límite superior	50.82	45.33	16.38	54.54	47.83	18.5
Q3	30.68	27.73	7	32.82	29.83	8
Mediana	22.8	21.17	4	24.08	23.21	4
Q1	17.25	16	0.75	18.33	17.83	1
Límite inferior	<0	<0	<0	<0	<0	<0
Nº datos atípicos	9	13	9	7	8	7

Fig. 62.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Aljorra, desde 2018 a 2019. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

5.1.5 Método percentil 40 móvil 15/30 aplicado en Alumbres

Alumbres año 2018

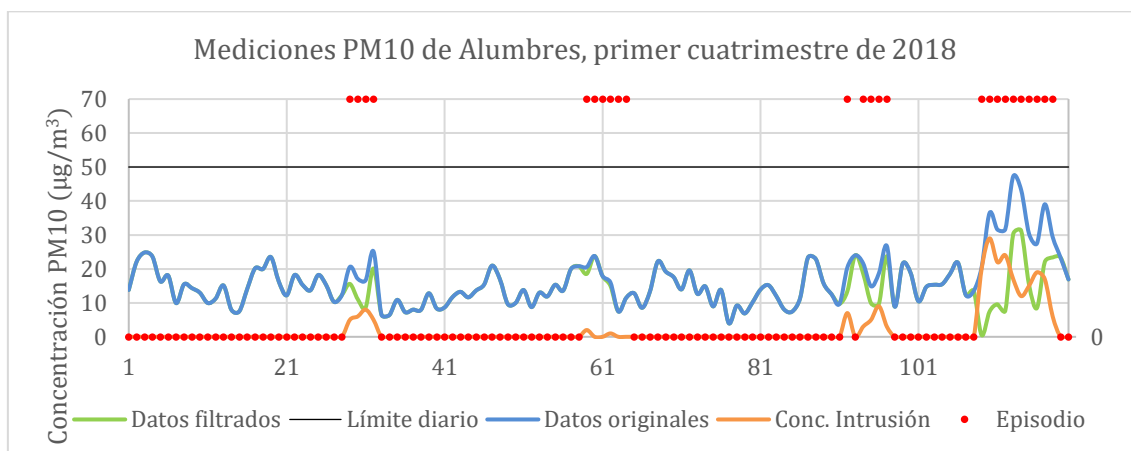


Fig. 63.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Alumbres el primer cuatrimestre de 2018: enero (del 1 al 31), febrero (del 32 al 59), marzo (del 60 al 90) y abril (del 91 al 120).

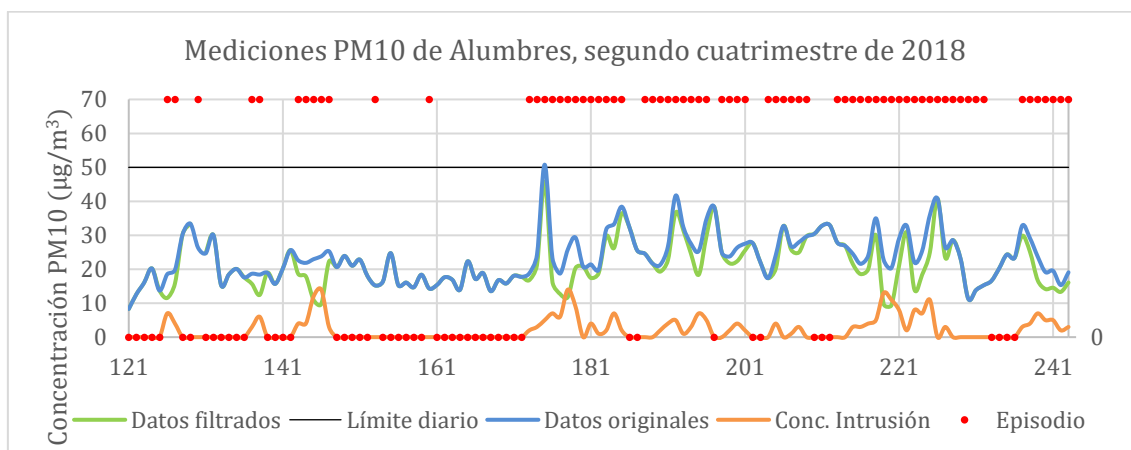


Fig. 64.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ de la estación de Alumbres el segundo cuatrimestre de 2018: mayo (del 121 al 151), junio (del 152 al 181), julio (del 182 al 212) y agosto (del 213 al 243).

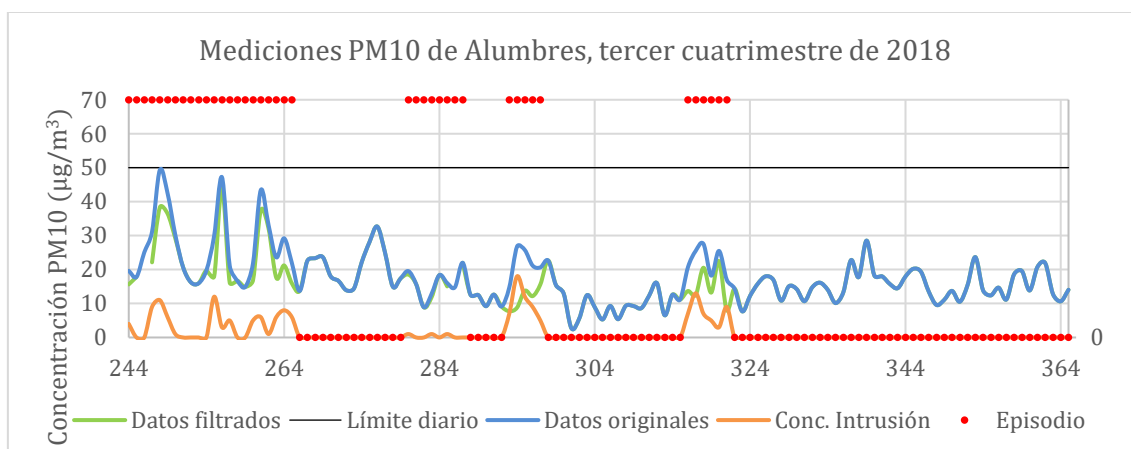


Fig. 65.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Alumbres el tercer cuatrimestre de 2018: septiembre (del 244 al 273), octubre (del 274 al 304), noviembre (del 305 al 334) y diciembre (del 335 al 365).

Alumbres, año 2019

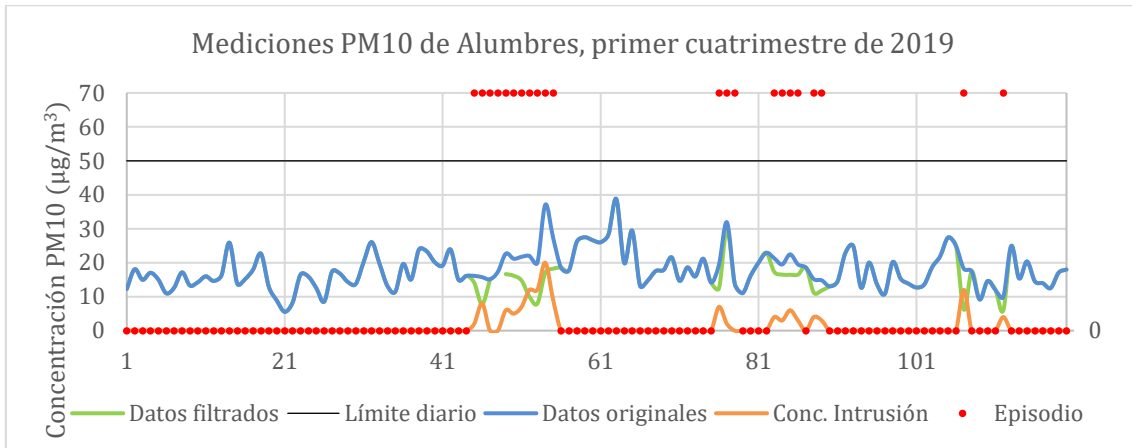


Fig. 66.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Alumbres el primer cuatrimestre de 2019: enero (del 1 al 31), febrero (del 32 al 59), marzo (del 60 al 90) y abril (del 91 al 120).

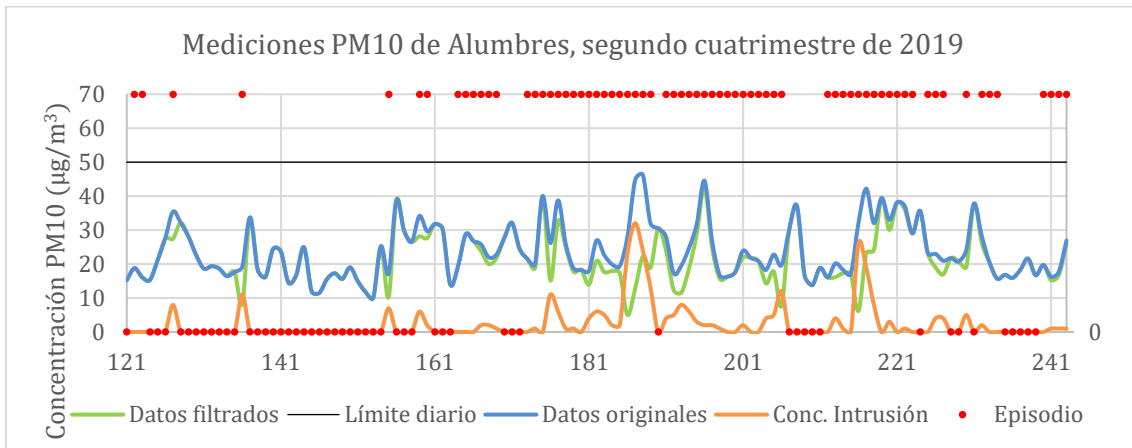


Fig. 67.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Alumbres el segundo cuatrimestre de 2019: mayo (del 121 al 151), junio (del 152 al 181), julio (del 182 al 212) y agosto (del 213 al 243).

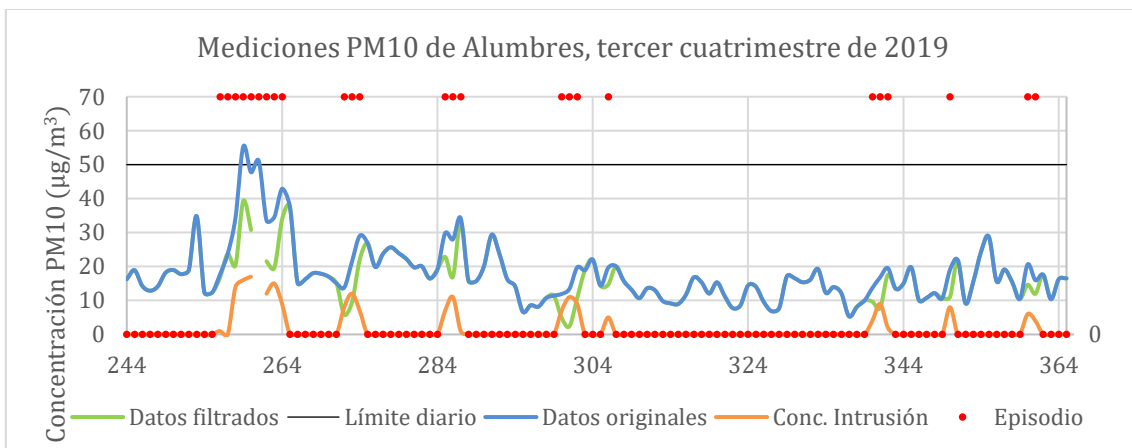


Fig. 68.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Alumbres el tercer cuatrimestre de 2019: septiembre (del 244 al 273), octubre (del 274 al 304), noviembre (del 305 al 334) y diciembre (del 335 al 365).

	2018			2019		
	Origin	Desc	Polvo	Origin	Desc	Polvo
Valor máximo	50.79	45.79	29	55.29	42.54	32
Media	19.19	17.27	5.11	19.95	18.14	5.51
Desviación típica	8.11	7.13	5.52	8.05	7.08	6.15
Valor mínimo	2.71	0.5	0	5.33	2.42	0
Nº datos	365	362	134	365	363	114
Nº superaciones	1	0	0	2	0	0
Límite superior	38.52	34.03	16	37.24	33.48	18.5
Q3	23.62	21.12	7	23.72	21.66	8
Mediana	18	15.96	4	18.23	16.81	4
Q1	13.68	12.52	1	14.71	13.78	1
Límite inferior	<0	<0	<0	1.19	1.96	<0
Nº datos atípicos	10	9	8	16	15	6

Fig. 69.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Alumbres, desde 2018 a 2019. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

5.1.6 Método percentil 40 móvil 15/30 aplicado en Mompean

Mompean año 2018

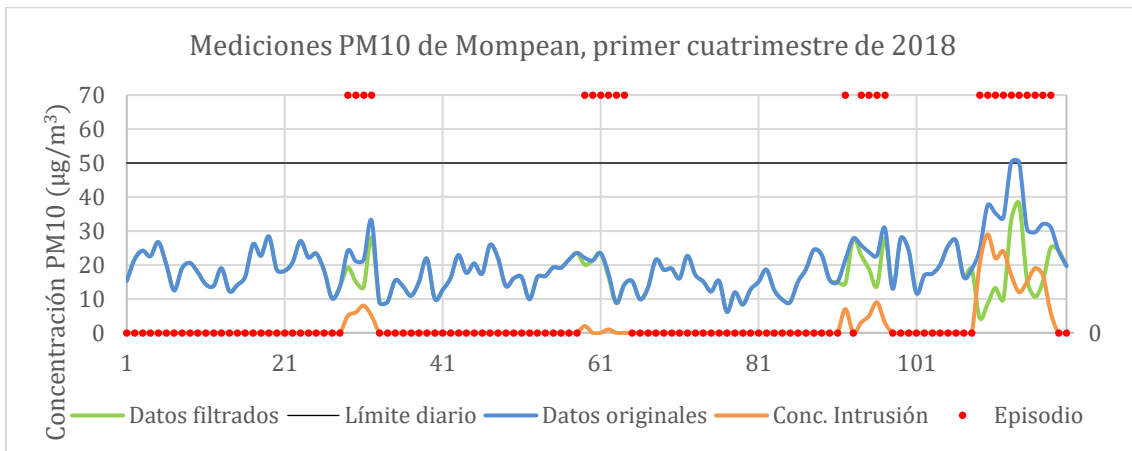


Fig. 70.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Mompean el primer cuatrimestre de 2018: enero (del 1 al 31), febrero (del 32 al 59), marzo (del 60 al 90) y abril (del 91 al 120).

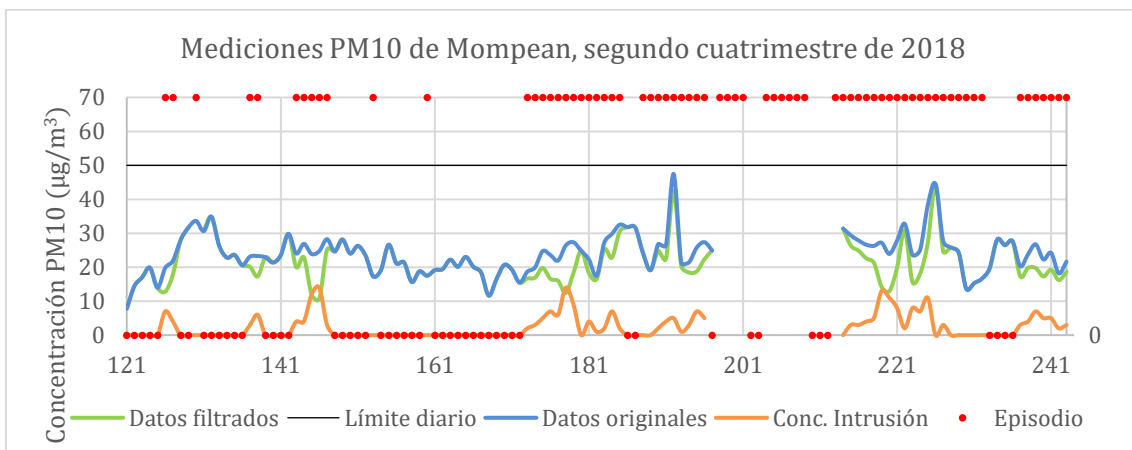


Fig. 71.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ de la estación de Mompean el segundo cuatrimestre de 2018: mayo (del 121 al 151), junio (del 152 al 181), julio (del 182 al 212) y agosto (del 213 al 243).

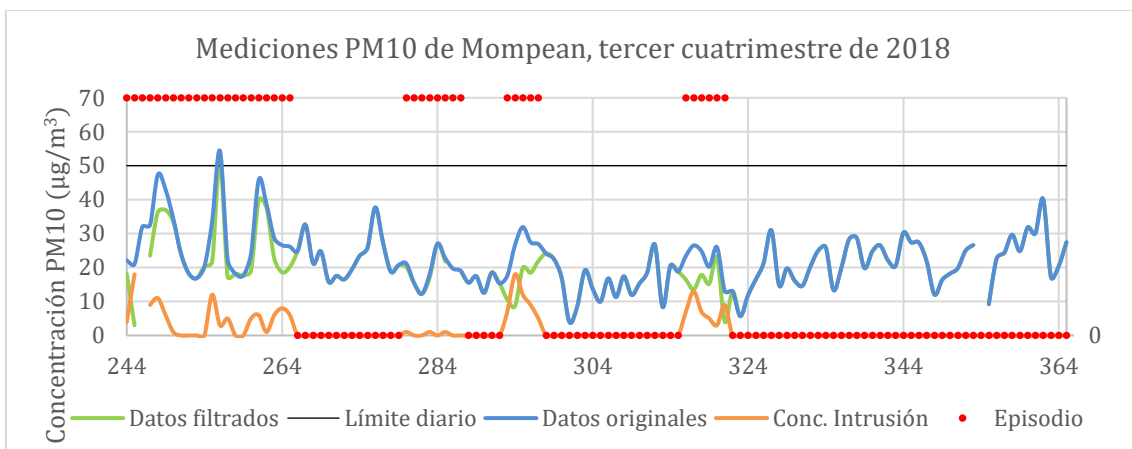


Fig. 72.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Mompean el tercer cuatrimestre de 2018: septiembre (del 244 al 273), octubre (del 274 al 304), noviembre (del 305 al 334) y diciembre (del 335 al 365).

Mompean, año 2019

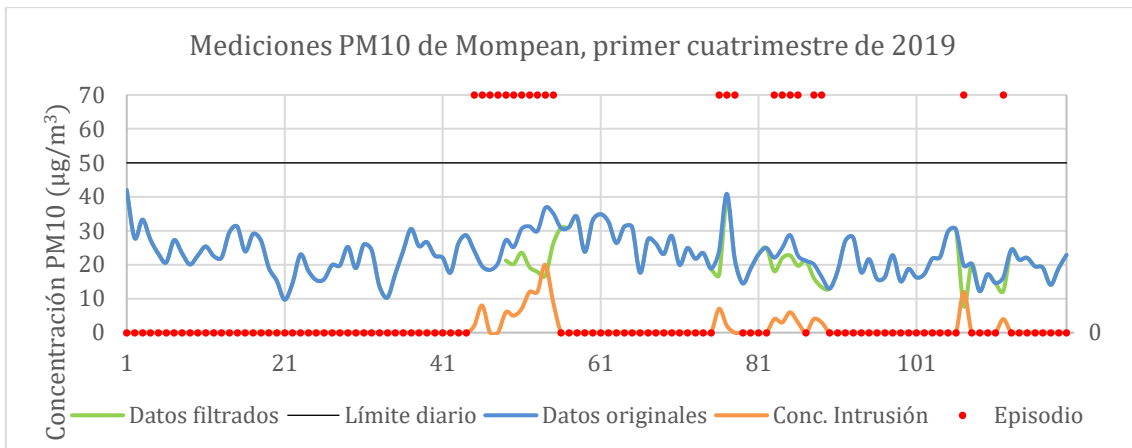


Fig. 73.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Mompean el primer cuatrimestre de 2019: enero (del 1 al 31), febrero (del 32 al 59), marzo (del 60 al 90) y abril (del 91 al 120).

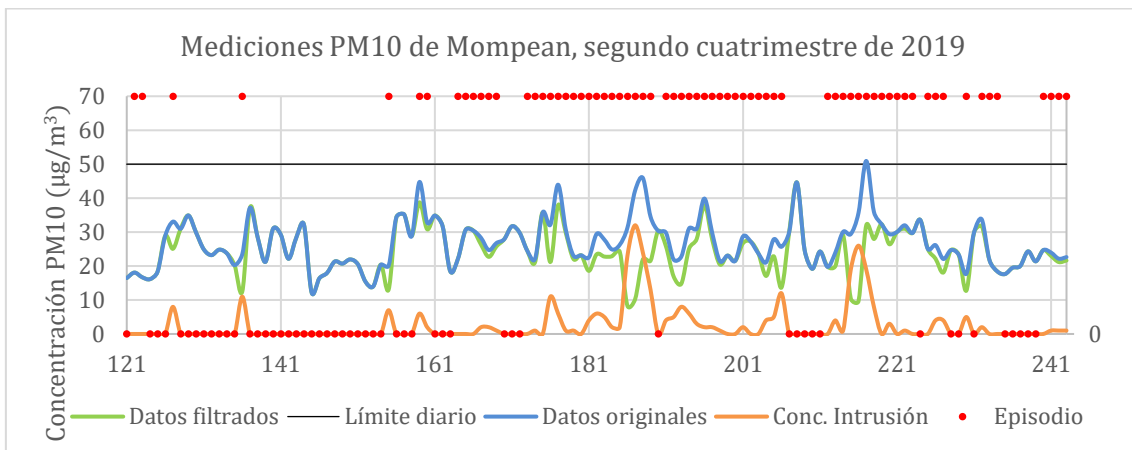


Fig. 74.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Mompean el segundo cuatrimestre de 2019: mayo (del 121 al 151), junio (del 152 al 181), julio (del 182 al 212) y agosto (del 213 al 243).

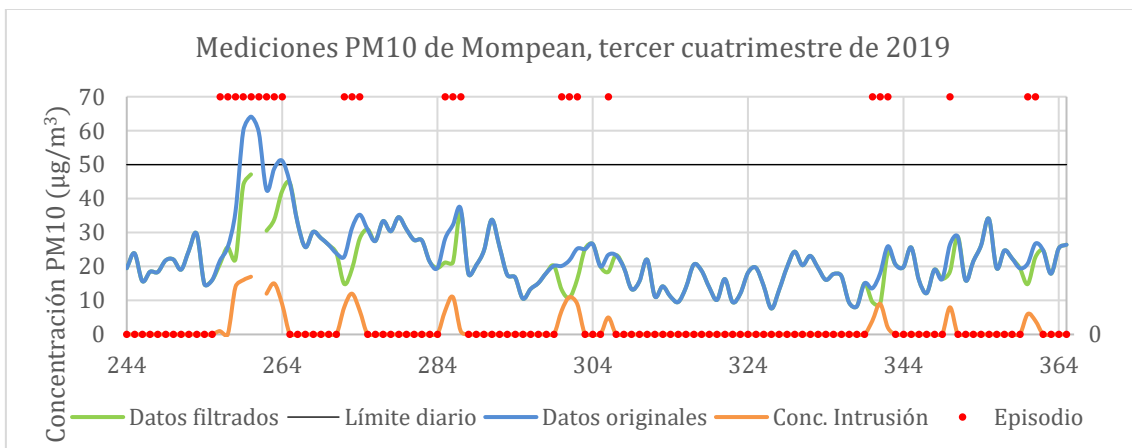


Fig. 75.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Mompean el tercer cuatrimestre de 2019: septiembre (del 244 al 273), octubre (del 274 al 304), noviembre (del 305 al 334) y diciembre (del 335 al 365).

	2018			2019		
	Origin	Desc	Polvo	Origin	Desc	Polvo
Valor máximo	54.38	51.38	29	64.13	47.13	32
Media	21.91	19.86	5.59	24.41	22.59	5.51
Desviación típica	7.54	6.86	5.72	8.09	7.03	6.15
Valor mínimo	3.96	3	0	7.63	7.63	0
Nº datos	348	345	123	365	363	114
Nº superaciones	3	1	0	5	0	0
Límite superior	40.41	35.87	16	43.96	40.73	18.5
Q3	26.29	23.61	7	29.04	27.06	8
Mediana	21.46	19.15	4	23.35	22.04	4
Q1	16.88	15.43	1	19.09	17.95	1
Límite inferior	2.76	3.16	<0	4.17	4.28	<0
Nº datos atípicos	8	11	9	10	6	6

Fig. 76.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Alcantarilla, desde 2018 a 2019. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

5.1.7 Método percentil 40 móvil 15/30 aplicado en Valle de Escombreras

Valle de Escombreras año 2018

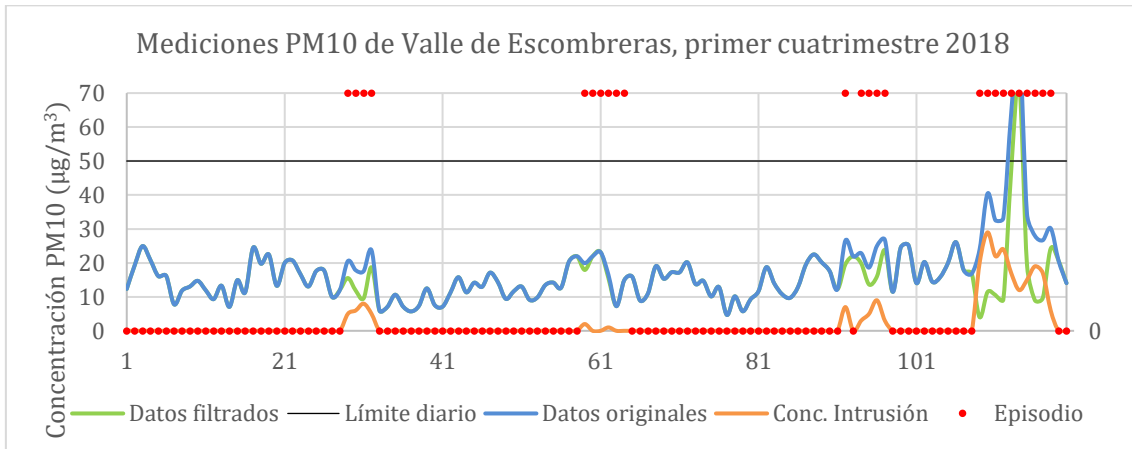


Fig. 77.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ de la estación de Valle de Escombreras el primer cuatrimestre de 2018: enero (del 1 al 31), febrero (del 32 al 59), marzo (del 60 al 90) y abril (del 91 al 120).

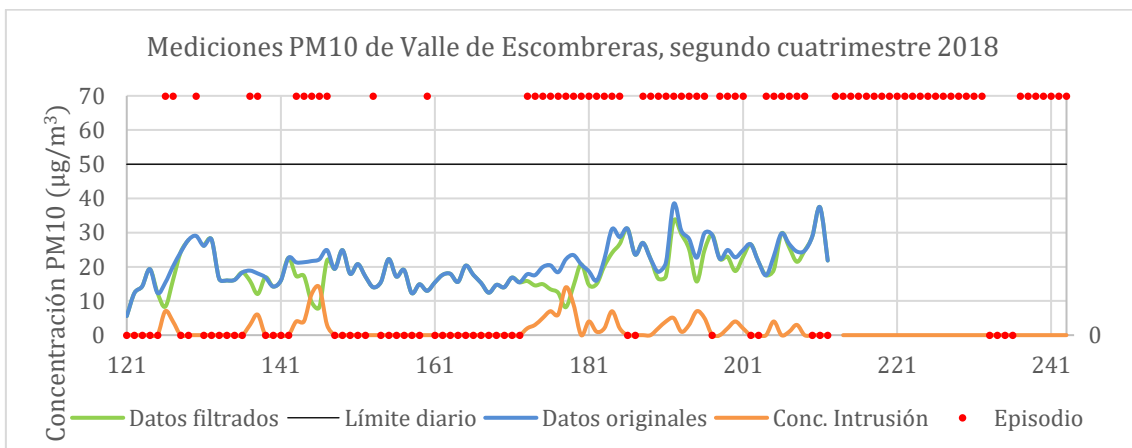


Fig. 78.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ de la estación de Valle Escomb. el segundo cuatrimestre de 2018: mayo (del 121 al 151), junio (del 152 al 181), julio (del 182 al 212) y agosto (del 213 al 243).

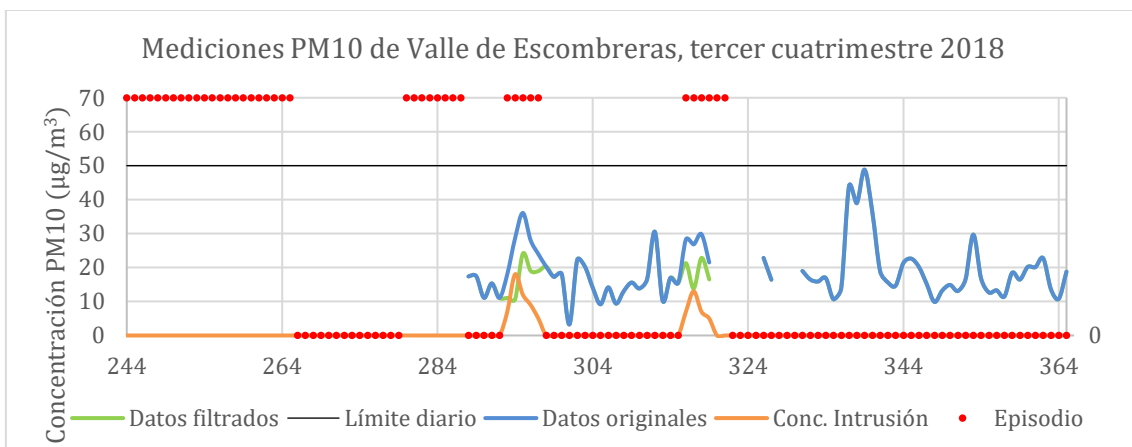


Fig. 79.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ de la estación de Valle de Escombreras el tercer cuatrimestre de 2018: septiembre (del 244 al 273), octubre (del 274 al 304), noviembre (del 305 al 334) y diciembre (del 335 al 365).

Valle de Escombreras, año 2019

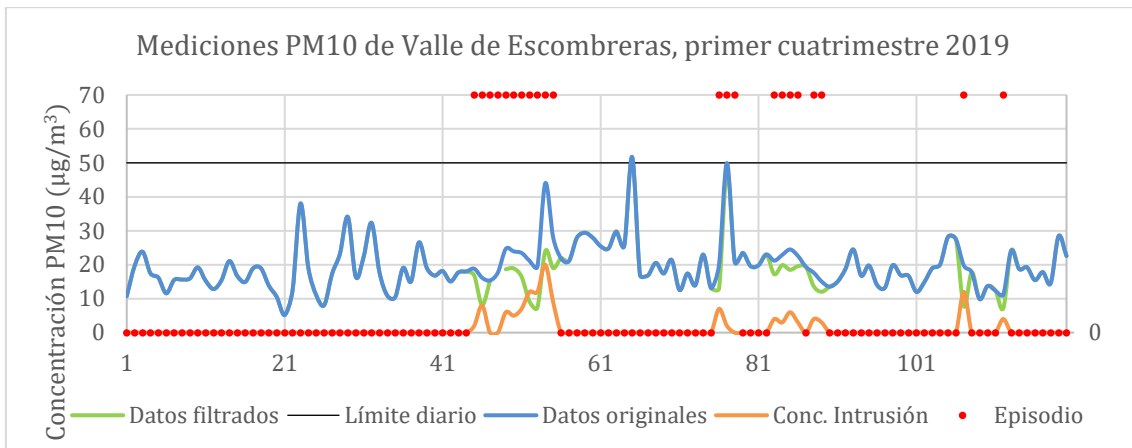


Fig. 80.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Valle de Escombreras el primer cuatrimestre de 2019: enero (del 1 al 31), febrero (del 32 al 59), marzo (del 60 al 90) y abril (del 91 al 120).

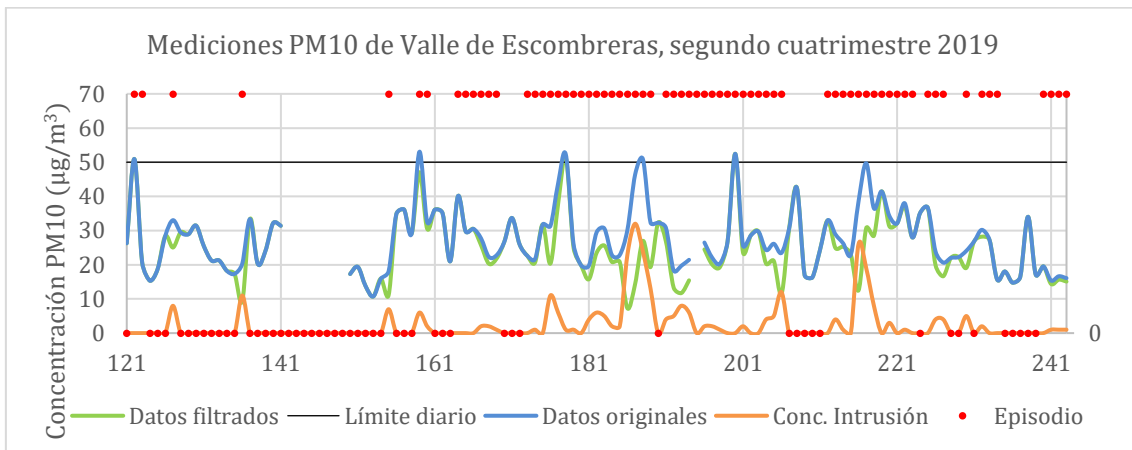


Fig. 81.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Valle de Escombreras el segundo cuatrimestre de 2019: mayo (del 121 al 151), junio (del 152 al 181), julio (del 182 al 212) y agosto (del 213 al 243).

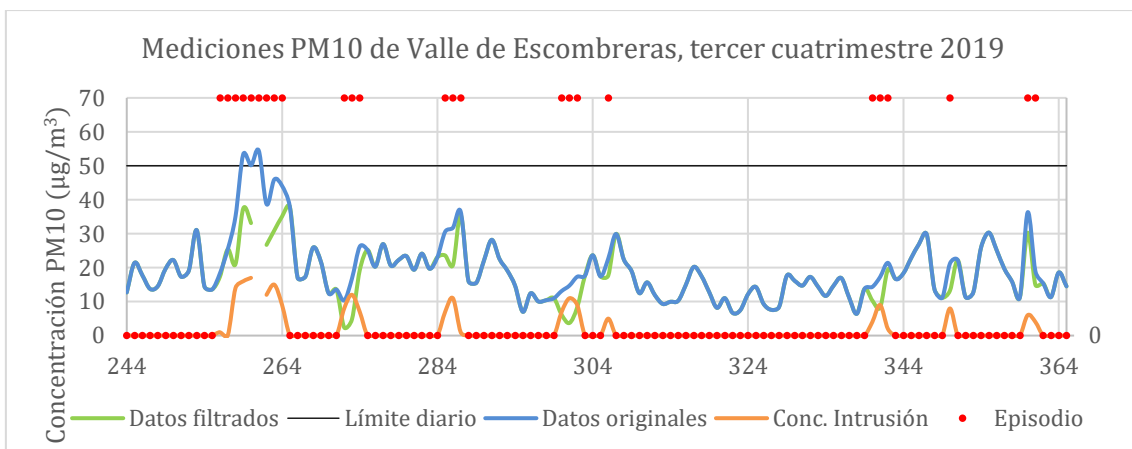


Fig. 82.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Valle de Escombreras el tercer cuatrimestre de 2019: septiembre (del 244 al 273), octubre (del 274 al 304), noviembre (del 305 al 334) y diciembre (del 335 al 365).

	2018			2019		
	Origin	Desc	Polvo	Origin	Desc	Polvo
Valor máximo	85.08	73.08	29	54.46	52.46	32
Media	18.84	17.09	6.15	22.09	20.25	5.53
Desviación típica	8.61	7.51	6.32	9.39	8.46	6.17
Valor mínimo	1	1	0	5.17	2.38	0
Nº datos	282	281	78	356	354	113
Nº superaciones	2	1		9	4	
Límite superior	35.22	31.5	14.5	43	40.54	18.5
Q3	22.31	20.2	7	26.58	24.98	8
Mediana	17.58	16	4	19.79	19	4
Q1	13.71	12.67	2	15.63	14.61	1
Límite inferior	0.8	1.37	<0	<0	<0	<0
Nº datos atípicos	10	9	9	16	8	6

Fig. 83.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Valle, desde 2018 a 2019. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

5.1.8 Método percentil 40 móvil 15/30 aplicado en Caravaca

Caravaca año 2018

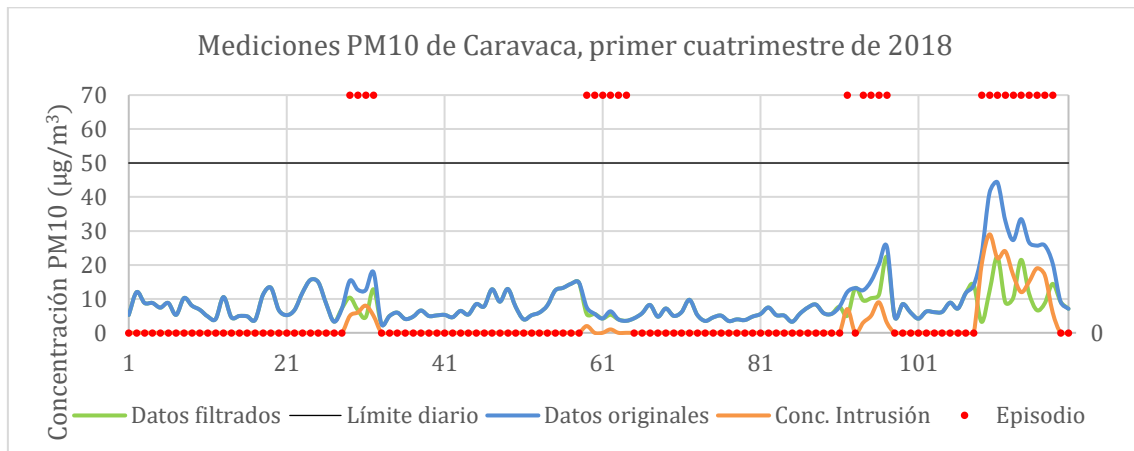


Fig. 84.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Caravaca el primer cuatrimestre de 2018: enero (del 1 al 31), febrero (del 32 al 59), marzo (del 60 al 90) y abril (del 91 al 120).

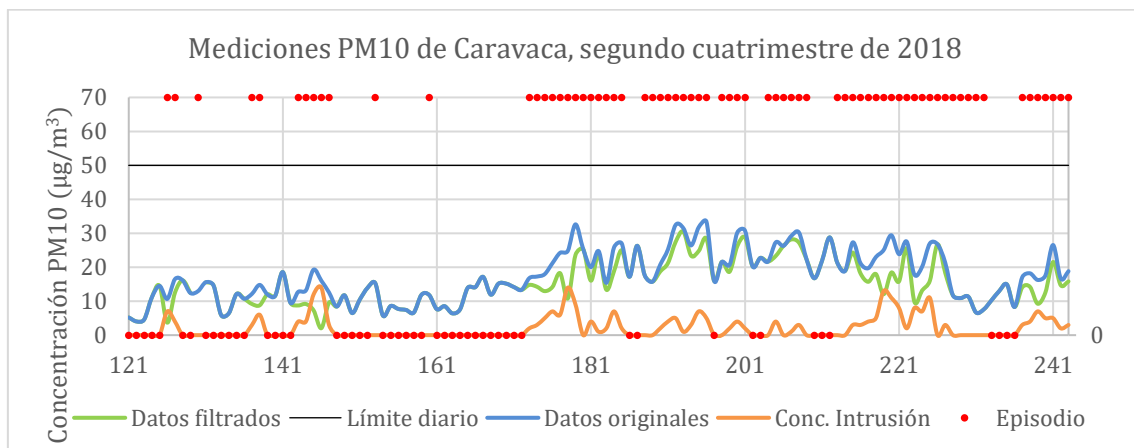


Fig. 85.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ de la estación de Caravaca el segundo cuatrimestre de 2018: mayo (del 121 al 151), junio (del 152 al 181), julio (del 182 al 212) y agosto (del 213 al 243).

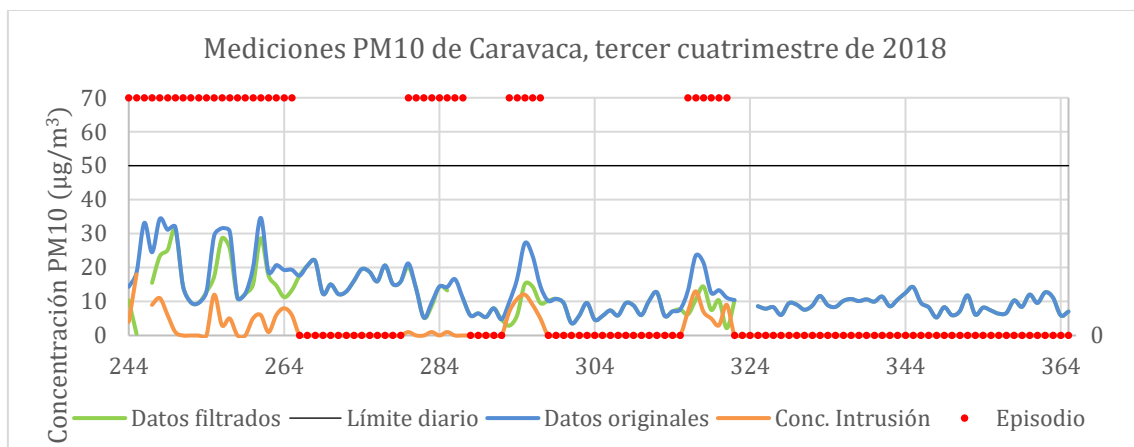


Fig. 86.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Caravaca el tercer cuatrimestre de 2018: septiembre (del 244 al 273), octubre (del 274 al 304), noviembre (del 305 al 334) y diciembre (del 335 al 365).

Caravaca, año 2019

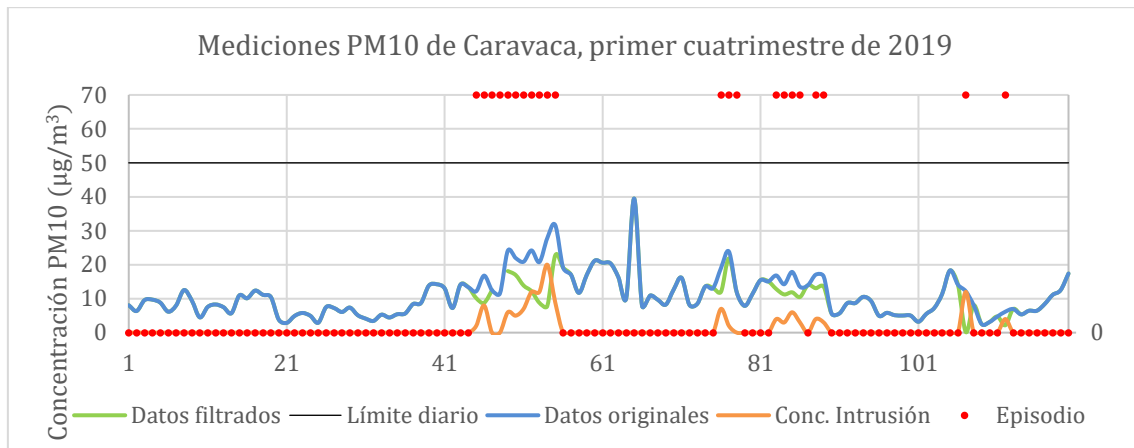


Fig. 87.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Caravaca el primer cuatrimestre de 2019: enero (del 1 al 31), febrero (del 32 al 59), marzo (del 60 al 90) y abril (del 91 al 120).

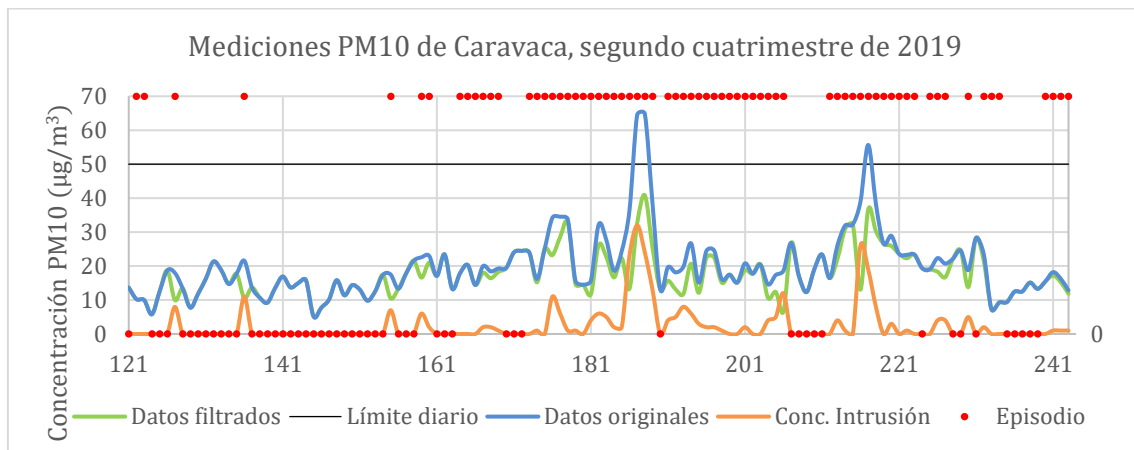


Fig. 88.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Caravaca el segundo cuatrimestre de 2019: mayo (del 121 al 151), junio (del 152 al 181), julio (del 182 al 212) y agosto (del 213 al 243).

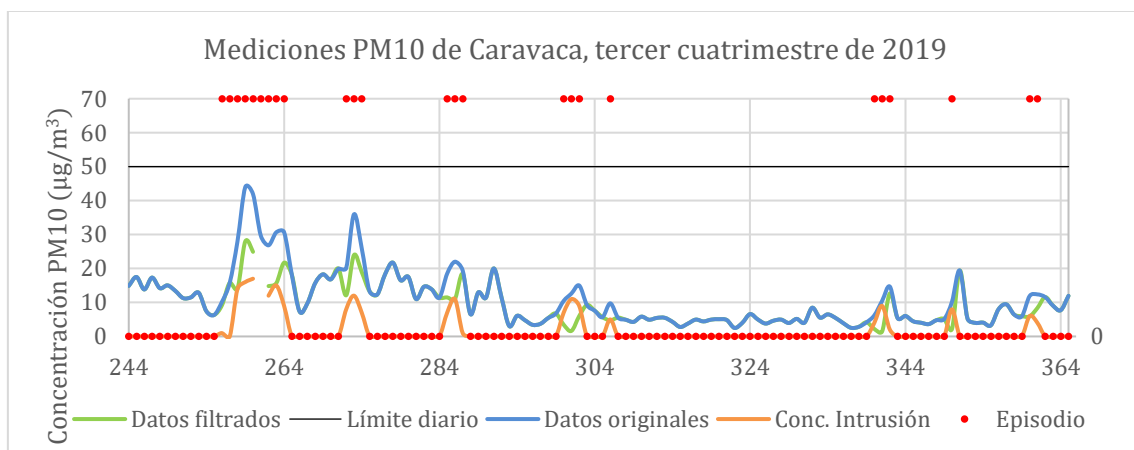


Fig. 89.- Concentraciones medias diarias en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ obtenidas en la estación de Caravaca el tercer cuatrimestre de 2019: septiembre (del 244 al 273), octubre (del 274 al 304), noviembre (del 305 al 334) y diciembre (del 335 al 365).

	2018			2019		
	Origin	Desc	Polvo	Origin	Desc	Polvo
Valor máximo	44.33	30.96	29	64.83	40.83	32
Media	13.38	11.39	5.19	14.04	12.28	5.51
Desviación típica	7.99	6.26	5.52	9.18	7.04	6.15
Valor mínimo	2.54	0.5	0	2.5	0.17	0
Nº datos	363	360	134	365	363	114
Nº superaciones	0	0		3	0	
Límite superior	33.29	26.36	16	35.79	32.15	18.5
Q3	17.56	14.42	7	18.29	16.55	8
Mediana	11.59	10.13	4	12.56	11.54	4
Q1	7.08	6.46	1	6.62	6.15	1
Límite inferior	<0	<0	<0	<0	<0	<0
Nº datos atípicos	6	11	8	11	6	6

Fig. 90.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Alcantarilla, desde 2018 a 2019. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

5.2 Análisis espacial del efecto de las intrusiones sobre la calidad del aire en la región de Murcia

A partir de los valores obtenidos en el apartado anterior, se pueden obtener las variaciones respecto al valor medio del PM10 por episodios de intrusión de polvo africano. Calculando la variación porcentual como:

$$\Delta\% = \frac{PM10_{medido} - PM10_{asociado\ intrusión}}{PM10_{medido}}$$

Se obtiene la tabla de la Fig 91.

	2018	2019
Alcantarilla	9.56%	7.81%
Lorca	12.13%	8.50%
San Basilio	5.68%	6.46%
Aljorra	7.63%	6.97%
Alumbres	10.00%	9.07%
Mompean	9.36%	7.46%
Escombreras	9.29%	8.33%
Caravaca	14.87%	12.54%

Fig. 91.- Variación respecto al valor medio de PM10 debida a los episodios de intrusión.

Con estos valores utilizando el software GIS, se puede mapear espacialmente la variación del PM10, mediante IDW (Distancia Inversa Ponderada).

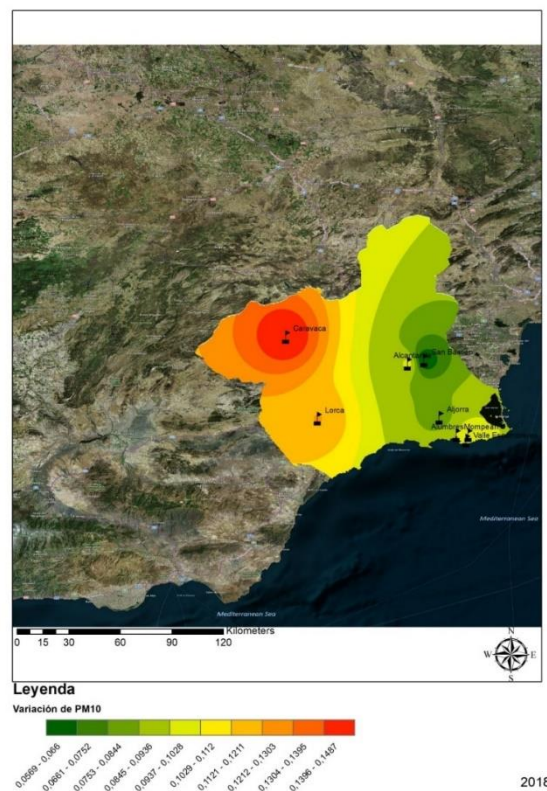


Fig. 92.- Mapa del efecto de las intrusiones sobre la calidad del aire en la región de Murcia en el año 2018.

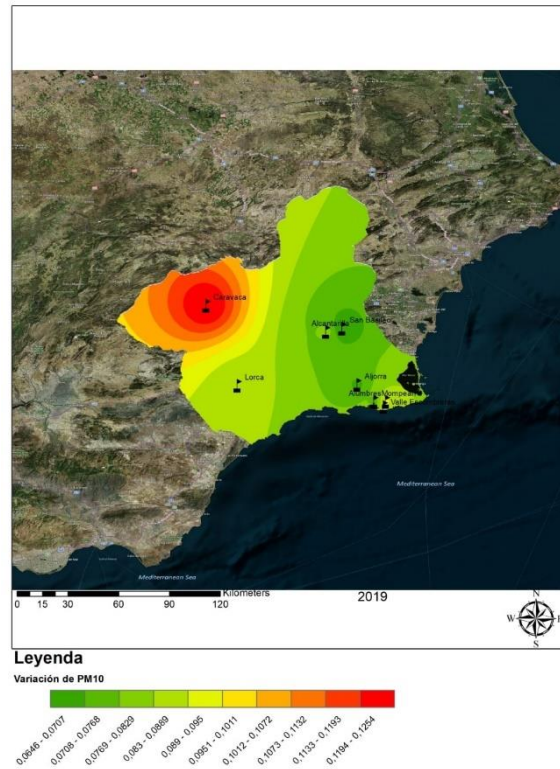


Fig. 93.- Mapa del efecto de las intrusiones sobre la calidad del aire en la región de Murcia en el año 2019.

Debe tenerse en cuenta que el mapa muestra las variaciones, y debido a que la estación de referencia es la misma para todas las estaciones de la región de Murcia, el PM10 asociado a los episodios de intrusión de polvo africano también lo serán. Por lo tanto, en el mapa se representan en rojo aquellas zonas donde los niveles de PM10 propios son muy bajos y los episodios producen un gran incremento asociado. Aquellas zonas donde los valores de PM10 son más altos, tales como San Basilio (estación de medición en zona de tráfico) o Valle de Escombreras (estación de medición en zona industrial), las variaciones relativas son menores.

6. Conclusiones

Tras haber recopilado y analizado los datos teniendo en cuenta multitud de factores, y la bibliografía pertinente al tema, se pueden llegar a las siguientes conclusiones:

- El tráfico rodado es un factor muy influyente que incrementa notablemente los niveles de PM10. Esto se debe a los procesos de combustión de los vehículos y el desgaste de los neumáticos. Numéricamente se puede apreciar al consultar los datos aislando por hora del día y día de la semana. A medida que se estudia un punto alejado de los focos de tráfico, esto disminuye hasta el punto de que no hay incrementos significativos entre los días laborales y no laborales (domingos). Debido a ello, las zonas urbanas pueden presentar niveles de PM10 superiores a las zonas industriales. Habría que estudiar en profundidad el efecto de la población o la densidad industrial.
- Los valores máximos de PM10 se miden en zonas industriales, y por su carácter, parece ser que no son debidos a agentes externos (episodios de intrusión) sino a generación propia.
- En la mayoría de los puntos de la región de Murcia los niveles de PM10 se encuentran en el rango de “razonablemente bueno” (estándar definido por el Ministerio para la transición ecológica), exceptuando San Basilio.
- Los episodios de intrusión de polvo africano tienen mucha influencia en la superación de límites diarios, a pesar de que, a escala anual, representen menos del 10% del PM10 medido. Así, tras aplicar los descuentos en los días con superación del límite diarios y episodio de intrusión Alcantarilla en 2019 pasa de tener 9 superaciones a tener 0; Lorca en 2019 pasa de tener 10 superaciones a tener tan sólo 3; La Aljorra en 2018 pasa de tener 10 superaciones a tener 7, en 2019 de 14 a 6; Alumbres en 2018 pasa de tener 1 superación a tener 0, en 2019 de tener 2 a tener 0; Mompean en 2018 pasa de tener 3 superaciones a tener 1, y en 2019 pasa de tener 5 a tener 0; Valle de Escombreras en 2018 pasa de tener 2 superaciones a tener 1, y en 2019 pasa de tener 9 a 4; por último, Caravaca en 2019 pasa de tener 3 superaciones a no tener ninguna tras los descuentos.
- Se ha aplicado el método que propone la normativa dado que no se tienen datos de una fuente más fiable para hacer un contraste, no se tiene una idea de la bondad del ajuste. Dado que se tratan de medidas estocásticas, no se espera tener una precisión absoluta, sino se premia más que sea un método práctico sin necesidad de herramientas avanzadas.

Este método, aunque válido debido a la regulación, probablemente en ocasiones esté dando resultados muy alejados de la realidad, ya que, aunque el método contempla utilizar una fórmula diferente ante valores negativos, en ocasiones se obtienen valores positivos muy cercanos a 0 (es decir, asociar un incremento excesivamente alto debido a los episodios de intrusión de polvo africano), igualmente incoherentes. Esto puede estar debido a que las estaciones de fondo rural de referencia para la región de Murcia más cercanas (Zarra y Víznar) se encuentran a una gran altitud, a diferencia de las estaciones de medición de la región de Murcia.

- Dado que el problema mencionado en el punto anterior tampoco se soluciona incluyendo los días de intrusión de polvo dentro de los percentiles móviles (esto sólo consigue un ligero descenso del incremento asociado a los episodios de intrusión), podría estudiarse utilizar (aunque no fuese a nivel legislativo) el uso de Caravaca como estación de fondo rural de referencia, seguida de Zarra, y comparar los datos de

intrusión de PM10 obtenido a los que se obtendrían utilizando cada una de las propias estaciones de medición de la región (es decir, sólo utilizando sus propios datos, sin basarse en una estación de referencia).

- Asimismo, también podría tener cabida algún método estadístico/conceptual en el que se impidiese que, tras el descuento por intrusión de polvo africano, el valor de PM10 medido fuese excesivamente bajos, ya que, en un entorno industrial, urbano o de tráfico estos valores son incoherentes y posiblemente se encuentren muy alejados de la realidad. Por ejemplo, que el valor tras el descuento nunca pudiese estar por debajo del percentil móvil correspondiente en la propia estación, o aplicar técnicas estadísticas tales como el criterio de rechazo de Chauvenet en un periodo móvil (tras confirmar que los datos siguen una distribución gaussiana) para eliminar datos anormalmente bajos.

7. Bibliografía

- Scribd. «Análisis Calidad Aire España 2001 2012 Tcm7 311112 | La Contaminación Del Aire | Hidrocarburo Aromático Policíclico». <https://es.scribd.com/document/375629687/Analisis-Calidad-Aire-Espana-2001-2012-Tcm7-311112>.
- «BOE.es - Documento consolidado BOE-A-2011-1645». <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2011-1645>.
- «BOE.es - Documento DOUE-L-2008-81053». <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2008-81053>.
- «Calidad del Aire de la Región de Murcia». <https://sinclair.carm.es/calidadaire/>.
- «Cap6_Fondo_tcm30-183390.pdf». https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/Cap6_Fondo_tcm30-183390.pdf.
- «Capa de aire sahariana». En *Wikipedia, la enciclopedia libre*, 11 de septiembre de 2020. https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Capa_de_aire_sahariana&oldid=129195299.
- Council Directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air, Pub. L. No. 31999L0030, OJ L 163 (1999). <http://data.europa.eu/eli/dir/1999/30/oj/eng>.
- D. de la Rosa, Jesús, Ana M. Sánchez de la Campa Verdoná, Yolanda González Castanedo, y Rocío Fernández Camacho. «Evolución Geoquímica del Material Particulado Atmosférico en Zonas Cerámicas y Mineras de Andalucía. Implicaciones en Calidad del Aire», s. f. <http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/7622/Evolucion%20Geoquimica%20del%20material%20particulado.pdf?sequence=2>.
- «Evaluación de la calidad del aire de la comunidad valenciana.pdf». <http://www.agroambient.gva.es/documents/20549779/169297850/ZONA+ES1010.+X%C3%9AQUER++CABRIEL.+%C3%80REA+INTERIOR/d50c3bf2-f0d6-423a-a49b-56e44c830265>.
- Diapouli, Evangelia, Manousos I. Manousakas, Stergios Vratolis, Vasiliki Vasilatou, Stella Pateraki, Kyriaki A. Bairachtari, Xavier Querol, et al. «AIRUSE-LIFE +: Estimation of Natural Source Contributions to Urban Ambient Air PM₁₀ and PM_{2.5} Concentrations in Southern Europe – Implications to Compliance with Limit Values». *Atmospheric Chemistry and Physics* 17, n.º 5 (15 de marzo de 2017): 3673-85. <https://doi.org/10.5194/acp-17-3673-2017>.
- «Earthdata». <https://earthdata.nasa.gov/>.
- «Ediciones Especiales - El Mercurio». <http://www.edicionesespeciales.elmercurio.com/destacadas/detalle/index.asp?idnoticia=201506251942530>.
- eprojectconsulting. «¿Qué porcentaje de agua tiene la Tierra?» *E-project consulting* (blog), 26 de diciembre de 2018. <https://eprojectconsulting.wordpress.com/2018/12/26/legalizacion-pozo-sondeo-agua-13/>.
- Escudero, M., S. Castillo, X. Querol, A. Avila, M. Alarcón, M. M. Viana, A. Alastuey, E. Cuevas, y S. Rodríguez. «Wet and Dry African Dust Episodes over Eastern Spain». *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 110, n.º D18 (2005). <https://doi.org/10.1029/2004JD004731>.
- Escudero, M, X Querol, J Pey, A Alastuey, y S Alonso. «A Methodology for the Quantification of the Net African Dust Load in Air Quality Monitoring Networks». *Atmospheric Environment*, 2007, 9.
- «ESTUDIO DE LOS NIVELES DE PM₁₀ Y PM_{2.5} EN UN ÁREA URBANA CON INFLUENCIA INDUSTRIAL SIDEROMETALÚRGICA».

- https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/particulas_beasain/es_doc/adjuntos/documento.pdf.
- «PM events and seasonal evolution».
- <https://upcommons.upc.edu/bitstream/2117/94303/5/05CHAPTER4.pdf>.
- Glennie, K. W., ed. «Chapter 3 Desert Erosion and Deflation**A Compilation of Terms Used in Describing Deserts and Their Land Forms Can Be Found in “A Desert Glossary” by Stone (1967, Pp.211-268). His Terms Are Listed According to Country with a Marked Emphasis on North America—a Reflection of the Relatively Much Greater Volume of Literature Associated with One of the World’s Less Extensive Areas of Desert.» En *Developments in Sedimentology*, 14:15-28. Desert Sedimentary Environments. Elsevier, 1970. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(08\)70859-8](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(08)70859-8).
- Han, Donghui, Hailong Shen, Wenbiao Duan, y Lixin Chen. «A Review on Particulate Matter Removal Capacity by Urban Forests at Different Scales». *Urban Forestry & Urban Greening* 48 (febrero de 2020): 126565. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126565>.
- «Histórico de Informes de Episodios Naturales». <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/evaluacion-datos/fuentes-naturales/anuales.aspx>.
- NARSTO, 2004. Particulate Matter Science for Policy Makers: A NARSTO Assessment. P. McMurry, M. Shepherd, and J. Vickery, eds. Cambridge University Press, Cambridge, England. ISBN 0 52 184287 5.
- «Informe anual 2018_final.pdf».
- https://sinqlair.carm.es/calidadaire/documentos/documentacion/Informe%20anual%202018_final.pdf.
- Kelly, Frank J., y Julia C. Fussell. «Size, Source and Chemical Composition as Determinants of Toxicity Attributable to Ambient Particulate Matter». *Atmospheric Environment* 60 (diciembre de 2012): 504-26. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.06.039>.
- Instituto para la Salud Geoambiental. «Material particulado», 23 de septiembre de 2013. <https://www.saludgeoambiental.org/material-particulado>.
- «Material particulado atmosférico». CMA. <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.7e1cf46ddf59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnextoid=bd9a6b23d642c310VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=e339a862d17d4310VgnVCM2000000624e50aRCRD>.
- «Material particulado atmosférico». CMA. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.7e1cf46ddf59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnextoid=bd9a6b23d642c310VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=e339a862d17d4310VgnVCM2000000624e50aRCRD&lr=lang_es&vgnsecondoid=9afb6b23d642c310VgnVCM2000000624e50aRCRD¶m1=2.
- Matus C., Patricia, Manuel Oyarzún G., Patricia Matus C., y Manuel Oyarzún G. «Impacto del Material Particulado aéreo (MP 2,5) sobre las hospitalizaciones por enfermedades respiratorias en niños: estudio caso-control alterno». *Revista chilena de pediatría* 90, n.º 2 (abril de 2019): 166-74. <https://doi.org/10.32641/rchped.v90i2.750>.
- Mohammed, G., G. Karani, y D. Mitchell. «Trace Elemental Composition in PM10 and PM2.5 Collected in Cardiff, Wales». *Energy Procedia* 111 (marzo de 2017): 540-47. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.216>.
- Murcia, Consejería de Salud Región de. «Murciasalud. Contaminantes del aire: Materias particuladas». <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=244308&idsec=1573>.
- . «Murciasalud. Contaminantes del aire: Materias particuladas». <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=244308&idsec=1573>.

- «Overview of Particle Air Pollution (PM2.5 and PM10.pdf».
<https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-05/documents/huff-particle.pdf>.
- Oyarzún G, Manuel, Nelson Dussaubat D, M. Eugenia Miller A, Silvia Labra J, y Sergio González B. «Efectos proinflamatorios de la contaminación atmosférica». *Revista chilena de enfermedades respiratorias* 27, n.º 3 (septiembre de 2011): 183-90.
<https://doi.org/10.4067/S0717-73482011000300002>.
- «Partículas en suspensión». <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/particulas.aspx>.
- «procedimiento-para-la-identificacion-de-episodios-naturales-de-pm10-y-pm2.5-y-la-demostracion-de-causa-en-lo-referente-a-las-superaciones-del-valor-limite-diario-de-pm10..pdf». <http://www.agroambient.gva.es/va/web/calidad-ambiental/procedimiento-para-la-identificacion-de-episodios-naturales-de-pm10-y-pm2.5-y-la-demostracion-de-causa-en-lo-referente-a-las-superaciones-del-valor-limite-diario-de-pm10>.
- «procedimiento-para-la-identificacion-de-episodios-naturales-de-pm10-y-pm2.5-y-la-demostracion-de-causa-en-lo-referente-a-las-superaciones-del-valor-limite-diario-de-pm10..pdf». <http://www.agroambient.gva.es/va/web/calidad-ambiental/procedimiento-para-la-identificacion-de-episodios-naturales-de-pm10-y-pm2.5-y-la-demostracion-de-causa-en-lo-referente-a-las-superaciones-del-valor-limite-diario-de-pm10>.
- «procedimiento-para-la-identificacion-de-episodios-naturales-de-pm10-y-pm2.5-y-la-demostracion-de-causa-en-lo-referente-a-las-superaciones-del-valor-limite-diario-de-pm10..pdf». <http://www.agroambient.gva.es/va/web/calidad-ambiental/procedimiento-para-la-identificacion-de-episodios-naturales-de-pm10-y-pm2.5-y-la-demostracion-de-causa-en-lo-referente-a-las-superaciones-del-valor-limite-diario-de-pm10>.
- «procedimiento-para-la-identificacion-de-episodios-naturales-de-pm10-y-pm2.5-y-la-demostracion-de-causa-en-lo-referente-a-las-superaciones-del-valor-limite-diario-de-pm10..pdf». <http://www.agroambient.gva.es/va/web/calidad-ambiental/procedimiento-para-la-identificacion-de-episodios-naturales-de-pm10-y-pm2.5-y-la-demostracion-de-causa-en-lo-referente-a-las-superaciones-del-valor-limite-diario-de-pm10>.
- Prospero, Joseph, Paul Ginoux, Omar Torres, Sharon Nicholson, y Thomas Gill.
 «Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the NIMBUS 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product». *Reviews of Geophysics* 40 (1 de marzo de 2002).
- Querol, X, A Alastuey, J Pey, N Pérez, M Escudero, S Castillo, Á Cristóbal, et al. «African Dust Influence on Ambient PM Levels in South-Western Europe (Spain and Portugal): A Quantitative Approach to Support Implementation of Air Quality Directives». *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 7 (1 de marzo de 2009): 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1307/7/1/012018>.
- «Estudio sobre el material particulado.pdf».
<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/695/queson.pdf>.
- «resolucion_02092020_modificacion_ica_tcm30-511596.pdf».
https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/resolucion_02092020_modificacion_ica_tcm30-511596.pdf.
- «Respiratory health effects of diesel particulate matter - RISTOVSKI - 2012 - Respirology - Wiley Online Library». <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1440-1843.2011.02109.x>.
- Rodríguez, Viana, y María del Mar. «Niveles, composición y origen del material particulado atmosférico en los sectores Norte y Este de la Península Ibérica y Canarias». *TDX*

- (*Tesis Doctorals en Xarxa*). Ph.D. Thesis, Universitat de Barcelona, 2003.
<http://www.tdx.cat/handle/10803/1972>.
- «Sahara». En *Wikipedia*, 29 de noviembre de 2020.
<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Sahara&oldid=991247637>.
- Salvador Martínez, Pedro, y Pedro Salvador Martínez. «Caracterización de la contaminación atmosférica producida por partículas en suspensión en Madrid». Info:eu-repo/semantics/doctoralThesis, Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones, 2005. <https://eprints.ucm.es/5402/>.
- «Sección de atmósfera-¿Qué son los episodios africanos?»
http://www.caib.es/sites/atmosfera/es/que_son_los_episodios_africanos-3217/.
- Stafoggia, Massimo, Stefano Zauli-Sajani, Jorge Pey, Evangelia Samoli, Ester Alessandrini, Xavier Basagaña, Achille Cernigliaro, et al. «Desert Dust Outbreaks in Southern Europe: Contribution to Daily PM₁₀ Concentrations and Short-Term Associations with Mortality and Hospital Admissions». *Environmental Health Perspectives* 124, n.º 4 (abril de 2016): 413-19. <https://doi.org/10.1289/ehp.1409164>.
- «The Georgia Basin-Puget Sound Airshed Characterization Report 2014: chapter 8 - Canada.ca». <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/air-pollution/publications/georgia-basin-puget-sound-report-2014/chapter-8.html>.
- US EPA. «U.S. Environmental Protection Agency». <https://www.epa.gov/>.
- «vigilanciacontaminacionfondo2019-emep_tcm39-510613.pdf».
https://www.miteco.gob.es/images/va/vigilanciacontaminacionfondo2019-emep_tcm39-510613.pdf.
- Wilson, William E., y Helen H. Suh. «Fine Particles and Coarse Particles: Concentration Relationships Relevant to Epidemiologic Studies». *Journal of the Air & Waste Management Association* 47, n.º 12 (diciembre de 1997): 1238-49.
<https://doi.org/10.1080/10473289.1997.10464074>.

ANEXO I: ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

En este ANEXO se recogen los resultados correspondientes a la estadística descriptiva de los valores de PM10 medidos en cada una de las estaciones de medida de la región de Murcia. Los aspectos que se recogen son: evolución del PM10 a lo largo de los años (el periodo de estudio es de 2010 a 2019), la influencia de la presencia o ausencia de episodios de intrusión de polvo africano, la influencia del día de la semana y el día de la semana en conjunto con la hora del día (especial para determinar los flujos de tráfico), y el mes del año.

Datos de PM10 procedentes de Alcantarilla

Comparación de los niveles de PM10 anual entre los años 2010 y 2019

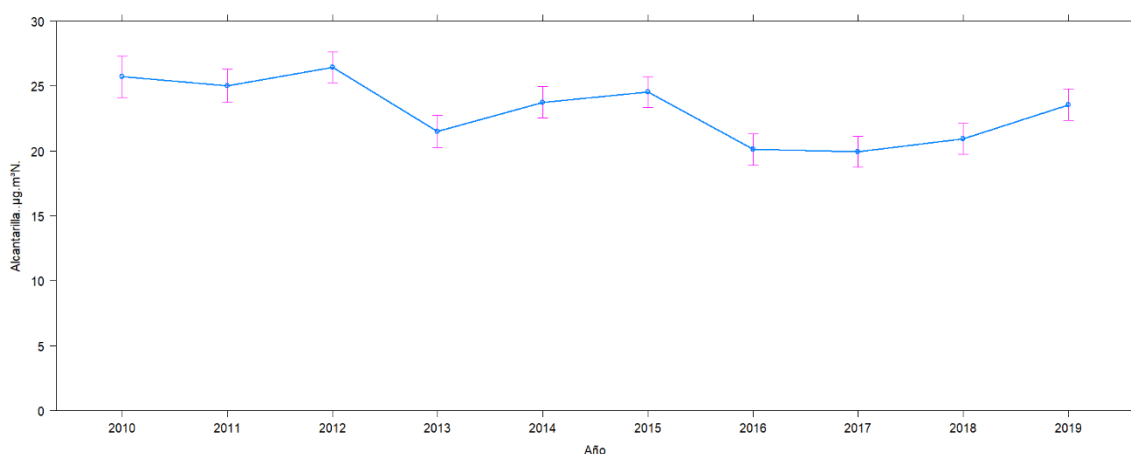


Fig. 94.- Concentración media anual del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Alcantarilla desde 2010 hasta 2019.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Valor máximo	55.13	52.67	336.58	80.5	75	75.08	95.42	76.92	49.96	82
Media	25.7	25.02	26.44	21.5	23.75	24.54	20.11	19.95	20.92	23.56
Desviación típica	10.1	8.23	20.32	9.14	10.3	10.52	10.67	10.83	9.34	10.8
Valor mínimo	6.63	6.29	4.42	6.38	5	6.71	3.79	4.38	4.21	4.88
Nº datos	210	311	362	344	365	364	359	364	365	357
Nº superaciones	5	1	10	1	9	10	4	7	0	8
Límite superior	49.52	45.86	54.14	44.51	48	46.01	39.15	45.92	46.75	50.58
Q3	31.05	29.88	31.73	26.63	29.56	28.88	23.68	25.67	26.77	29.47
Mediana	23.79	25.15	25.08	20.13	22.29	23.46	18.46	17.21	19.67	22.84
Q1	18.73	19.23	16.79	14.71	17.27	17.46	13.37	12.17	13.45	15.4
Límite inferior	0.26	3.26	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)
Nº datos atípicos	5	4	9	6	9	12	16	10	3	7

Fig. 95.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Alcantarilla en función del año, desde 2010 a 2019. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Comparación de los niveles de PM10 en función de la presencia de episodios de intrusión de polvo africano

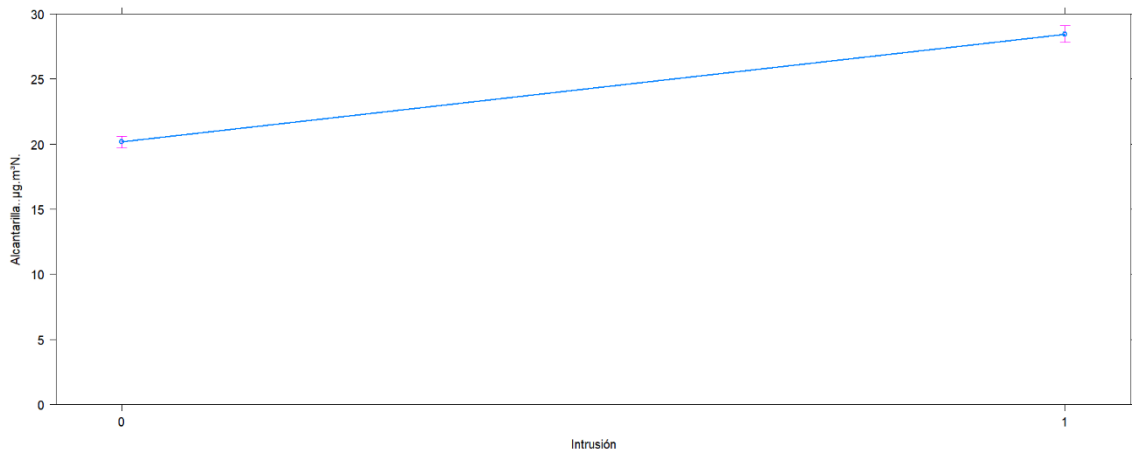


Fig. 96.- Concentración media global del material particulado PM10 en µg/Nm³ medido en la estación de Alcantarilla desde 2010 hasta 2019. 0: ausencia de episodio de polvo africano, 1: presencia de episodio de polvo africano.

```

                Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Intrusión      1  52851    52851  428.1 <2e-16 ***
Residuals    3399 419629     123
    
```

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
 251 observations deleted due to missingness

Fig. 97.- Resultado de la realización de una tabla ANOVA de un factor (Intrusión) sobre el PM10 medido en la estación de Alcantarilla. Conclusión: se rechaza la hipótesis nula, el valor de PM10 durante los episodios de intrusión es significativamente superior al medido durante ausencia de estas. P-valor <0.001

	No int	Intr
Valor máximo	59.92	336.58
Media	20.15	28.44
Desviación típica	8.63	14.72
Valor mínimo	3.79	6.83
Nº datos	2227	1174
Nº superaciones	6	49
Límite superior	43.92	52.15
Q3	25.71	33.4
Mediana	19.15	26.42
Q1	13.57	20.9
Límite inferior	(<0)	2.15
Nº datos atípicos	20	42

Fig. 98.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Alcantarilla desde 2010 a 2019 en función de la presencia o ausencias de episodios de intrusión. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en µg/Nm³.

Día de la semana

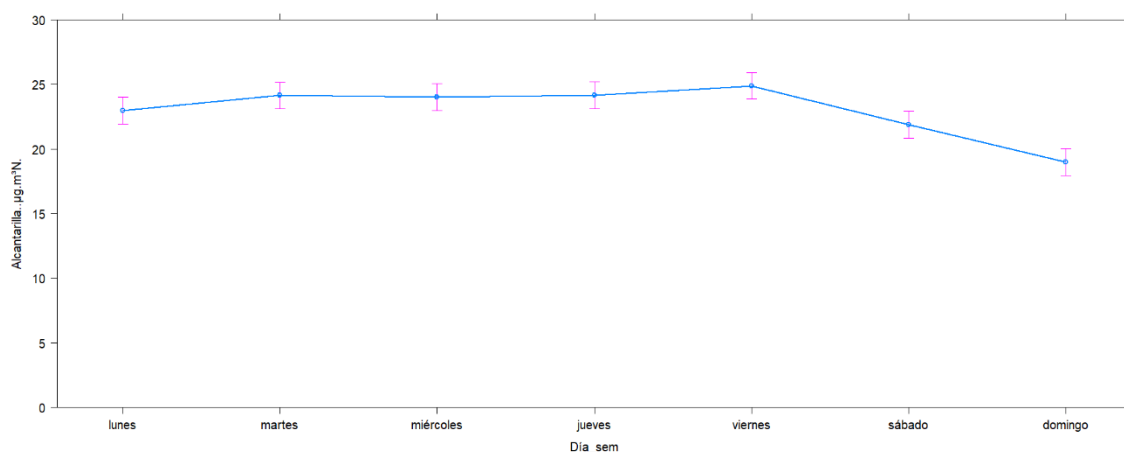


Fig. 99.- Concentración media del material particulado PM10 en µg/Nm³ medido en la estación de Alcantarilla desde 2010 hasta 2019 en función del día de la semana.

lunes martes miércoles jueves viernes sábado domingo
 "bc" "c" "bc" "c" "c" "b" "a"

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Valor máximo	86	95.42	77.71	75.08	336.58	82	70.38
Media	22.96	24.14	24.02	24.15	24.89	21.88	18.99
Desviación típica	10.17	11.19	10.66	10.03	17.59	10.62	9.15
Valor mínimo	4.21	4.42	5.75	5.21	5	3.79	4.21
Nº datos	485	488	489	487	488	483	481
Nº superaciones	7	9	13	6	7	10	3
Límite superior	48.18	50.66	50.06	50.39	48.6	44.96	42.26
Q3	28.85	30.21	29.65	30.15	29.79	26.98	24.24
Mediana	21.52	22.88	22.6	23.04	23	20.81	17.94
Q1	15.96	16.58	16.03	16.66	17.25	14.99	12.23
Límite inferior	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)
Nº datos atípicos	8	8	13	6	9	15	11

Fig. 100.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Alcantarilla desde 2010 a 2019 en función del día de la semana. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en µg/Nm³.

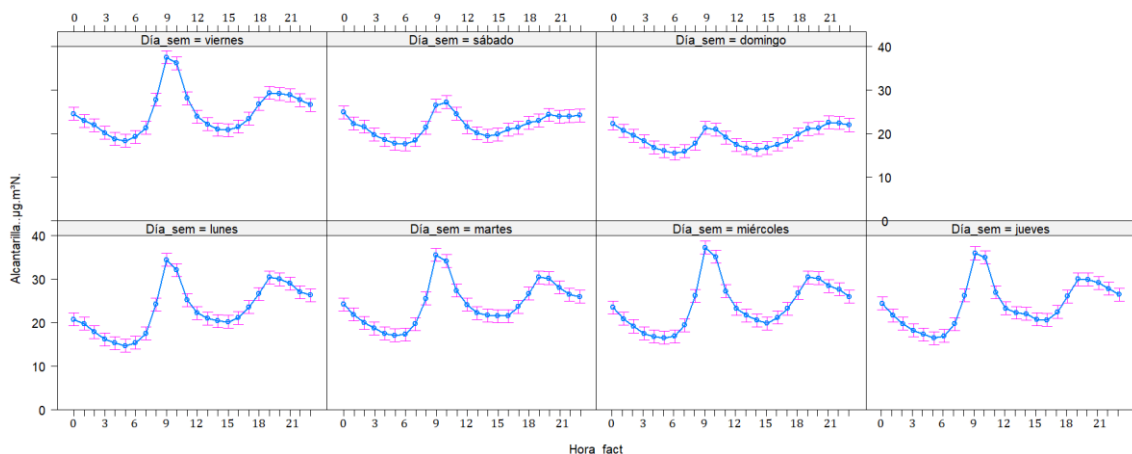


Fig. 101.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Alcantarilla desde 2010 hasta 2019 en función del día de la semana y la hora del día.

Mes del año

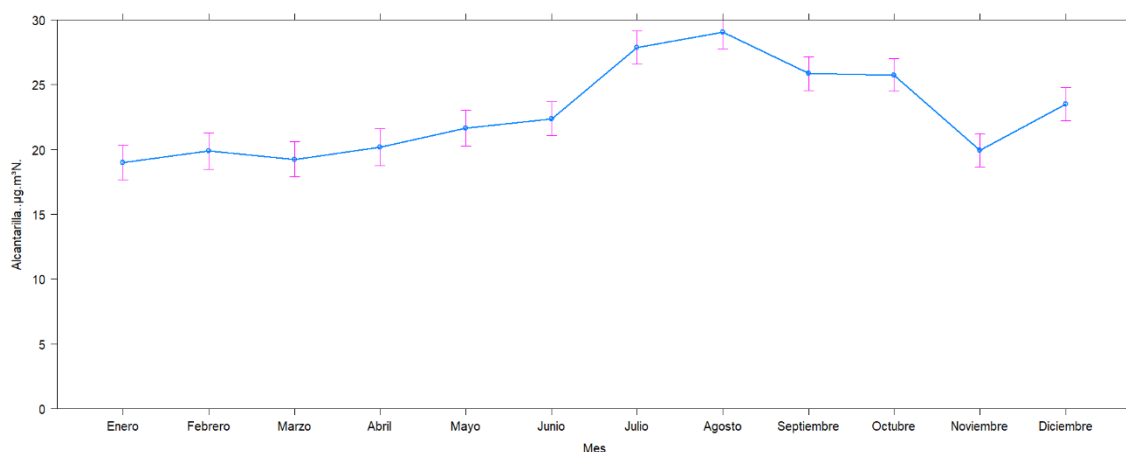


Fig. 102.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Alcantarilla desde 2010 hasta 2019 en función del mes del año.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Valor máximo	48.67	95.42	80.5	52.13	75.08	102.46	82	81.88	62.96	336.58	75	71.42
Media	18.97	19.86	19.25	20.16	21.65	22.37	27.86	29.05	25.84	25.74	19.92	23.49
Desviación típica	8.96	11.32	9.61	9.36	8.21	9.68	9.72	11.35	9.22	20.38	9.75	11.54
Valor mínimo	4.38	3.79	4.42	5.46	6.38	6.75	7.17	7.83	7.63	4.21	4.67	4.21
Nºdatos	279	254	274	241	258	291	302	308	288	307	299	300
Nº superaciones	0	4	1	1	1	4	6	14	5	6	6	7
Límite superior	44.03	43.29	42.16	43.16	43.45	43.68	50.62	54.39	47.74	51.11	42.3	52.7
Q3	24.81	24.81	24.39	25.19	26.83	27.01	33.25	34.38	30.83	30.94	24.78	30.08
Mediana	17.42	16.79	17.42	18.69	20.71	21.9	26.63	26.67	24.42	23.58	18.48	21.08
Q1	12	12.5	12.55	13.21	15.75	15.9	21.67	21.04	19.56	17.49	13.11	15
Límite inferior	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	4.3	1.03	2.65	(<0)	(<0)	(<0)
Nº datos atípicos	2	6	5	7	3	5	5	9	6	6	9	4

Fig. 103.- Resúmenes numéricos mensuales de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Alcantarilla desde 2010 a 2019 en función del mes del año. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Datos de PM10 procedentes de Lorca

Comparación de los niveles de PM10 anual entre los años 2010 y 2019

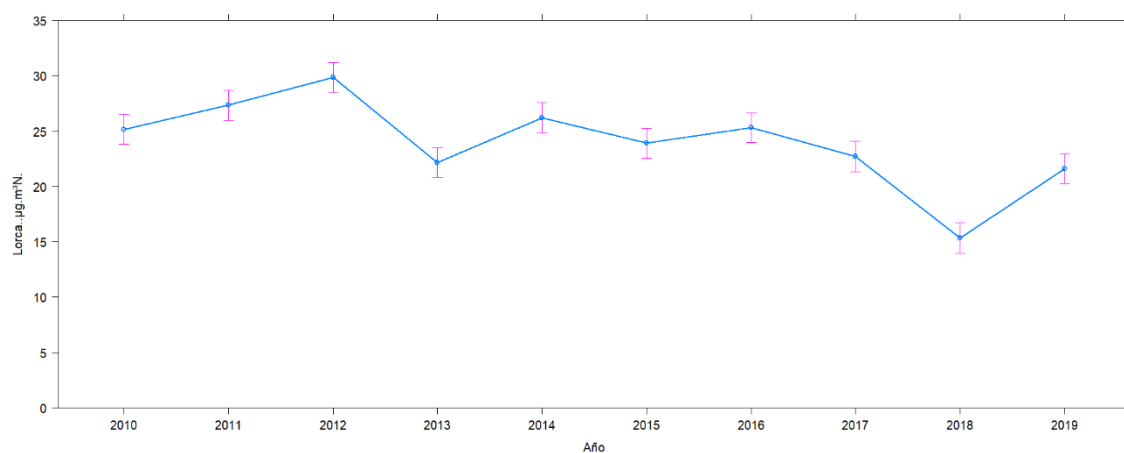


Fig. 104.- Concentración media anual del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Lorca desde 2010 hasta 2019.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Valor máximo	104.83	60.88	243.33	57.54	87.21	71.55	170	72.67	43.08	6
Media	25.15	27.33	29.82	22.15	26.2	23.9	25.31	22.72	15.34	11.88
Desviación típica	11.28	11.11	19.6	9.23	12.81	12.7	17.71	12.4	7.82	16.08
Valor mínimo	6.08	6.08	4.79	3.58	4.46	1	4.38	4	2.67	13.83
Nº datos	365	365	356	364	365	364	364	353	347	12.88
Nº superaciones	8	10	30	2	15	20	25	14	0	7.88
Límite superior	51.39	59.16	61.39	48.13	59.19	50.83	55.47	49.52	33.71	10.08
Q3	31.04	34.77	35.83	28.25	33.66	29.38	31.21	28.11	19.35	15.96
Mediana	23.4	25.98	27.25	21.38	24.29	20.96	20.96	20.25	13.54	17.54
Q1	17.47	18.51	18.79	15	16.64	15.08	15.04	13.83	9.78	11.75
Límite inferior	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	12.83
Nº datos atípicos	6	1	16	2	6	20	19	14	11	12.13

Fig. 105.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Lorca en función del año, desde 2010 a 2019. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Comparación de los niveles de PM10 en función de la presencia de episodios de intrusión de polvo africano

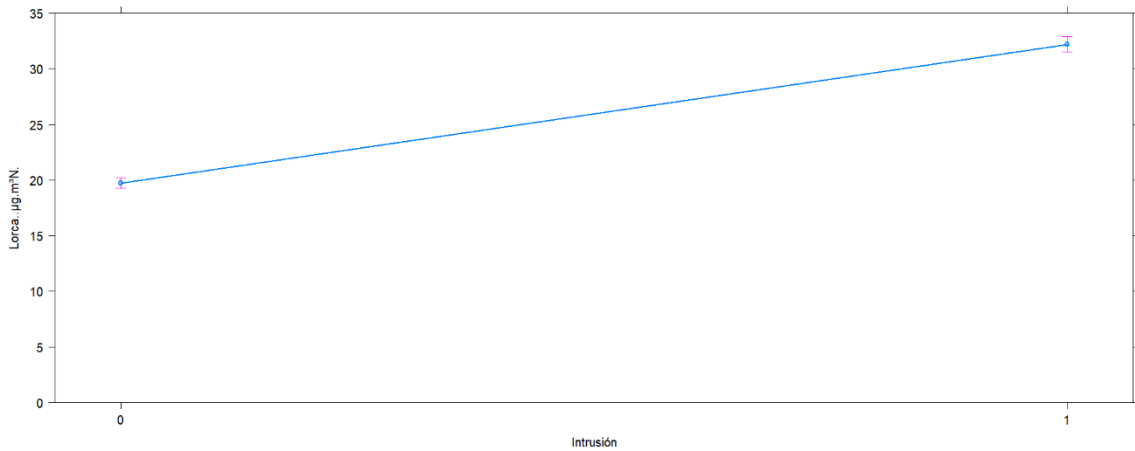


Fig. 106.- Concentración media global del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Lorca desde 2010 hasta 2019. 0: ausencia de episodio de polvo africano, 1: presencia de episodio de polvo africano.

```

                Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Intrusión      1 125620  125620   833.8 <2e-16 ***
Residuals    3604  542947    151
    
```

```

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
46 observations deleted due to missingness
    
```

Fig. 107.- Resultado de la realización de una tabla ANOVA de un factor (Intrusión) sobre el PM10 medido en la estación de Lorca. Conclusión: se rechaza la hipótesis nula, el valor de PM10 durante los episodios de intrusión es significativamente superior al medido durante ausencia de estas. P-valor <0.001

	No int	Intr
Valor máximo	69.38	243.33
Media	19.74	32.19
Desviación típica	9.71	16.12
Valor mínimo	2.5	1
Nºdatos	2377	1229
Nº superaciones	18	116
Límite superior	43.89	62.35
Q3	25.08	38.15
Mediana	17.9	29.81
Q1	12.54	22.01
Límite inferior	(<0)	(<0)
Nº datos atípicos	62	47

Fig. 108.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Lorca desde 2010 a 2019 en función de la presencia o ausencias de episodios de intrusión. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Comparación de los niveles de PM10 en función del día de la semana y hora del día.

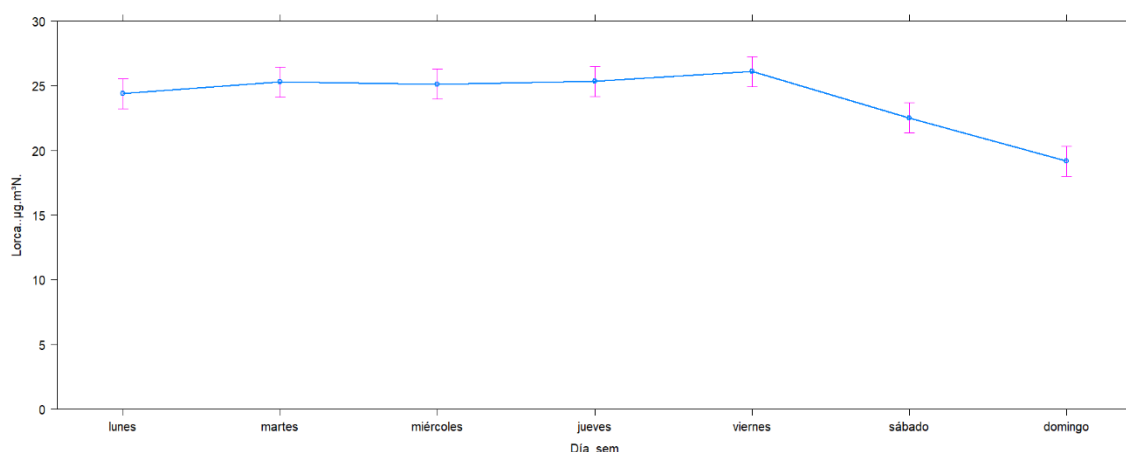


Fig. 109.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Lorca desde 2010 hasta 2019 en función del día de la semana.

lunes martes miércoles jueves viernes sábado domingo
 "bc" "c" "c" "c" "c" "b" "a"

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Valor máximo	170	106.04	137.79	84.17	243.33	104.83	79.5
Media	24.39	25.28	25.11	25.32	26.1	22.52	19.15
Desviación típica	13.47	13.77	13.33	12.54	16.54	12.74	11.09
Valor mínimo	3.46	2.71	4.67	4.71	2.67	3.5	1
Nº datos	516	517	513	515	517	516	512
Nº superaciones	16	24	26	18	23	18	9
Límite superior	53.26	56.14	57.39	56.19	56.97	50.7	42.21
Q3	30.58	31.74	32.04	32.22	32.39	28.58	23.71
Mediana	22.13	23.19	22.96	22.71	23.38	19.83	17
Q1	15.46	15.47	15.14	16.24	16	13.83	11.38
Límite inferior	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)
Nº datos atípicos	13	17	10	15	12	17	21

Fig. 110.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Lorca desde 2010 a 2019 en función del día de la semana. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

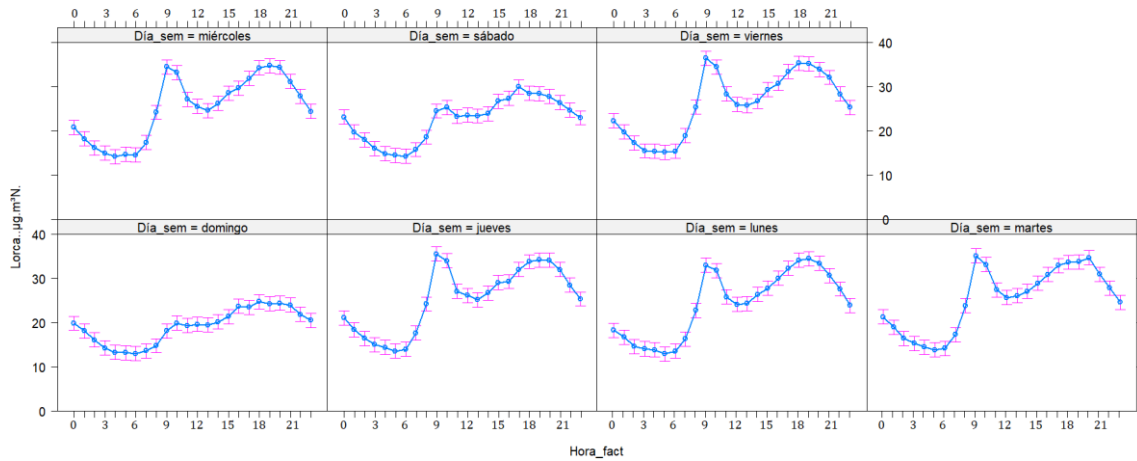


Fig. 111.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Lorca desde 2010 hasta 2019 en función del día de la semana y la hora del día.

Mes del año

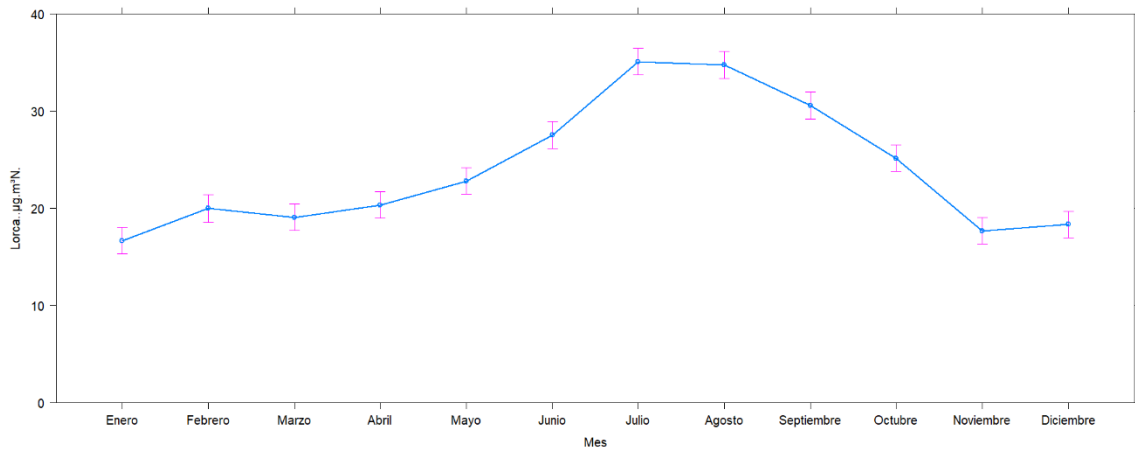


Fig. 112.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Lorca desde 2010 hasta 2019 en función del mes del año.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Valor máximo	42.74	170	104.83	55.29	62.54	135.92	78.67	96.88	87.96	243.33	87.21	65.71
Media	16.68	19.99	19.07	20.34	22.81	27.52	35.08	34.73	30.55	25.15	17.68	18.34
Desviación típica	7.87	14.8	10.52	10.04	9.43	11.87	10.84	14.35	13.5	18.56	10.33	8.97
Valor mínimo	3.46	2.67	3.83	2.5	6.33	6.42	1	7.13	7.54	5.08	4.46	4
Nºdatos	305	282	307	299	310	295	309	298	288	310	300	303
Nº superaciones	0	9	3	2	1	8	28	43	22	11	4	3
Límite superior	36.79	37.99	41.4	44.83	48.58	49.54	62.83	69.96	63.79	51.5	35.57	38.69
Q3	21.25	22.55	23.79	25.78	28.67	32.21	41.66	42.84	38.29	30.31	21	22.71
Mediana	14.96	17.71	17.54	18.02	21.75	26.25	33.25	32.25	27.63	21.42	15.25	16.54
Q1	10.89	12.25	12.05	13.08	15.4	20.66	27.54	24.75	21.29	16.19	11.29	12.06
Límite inferior	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	3.33	6.37	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)
Nº datos atípicos	6	15	10	7	1	8	6	6	10	9	14	7

Fig. 113.- Resúmenes numéricos mensuales de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Lorca desde 2010 a 2019 en función del mes del año. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Datos de PM10 procedentes de San Basilio

Comparación de los niveles de PM10 anual entre los años 2010 y 2019

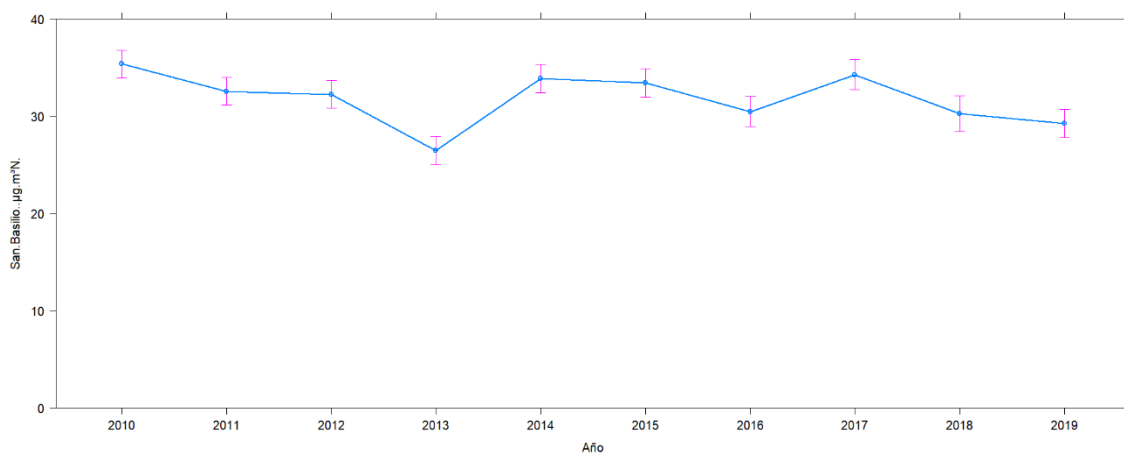


Fig. 114.- Concentración media anual del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de San Basilio desde 2010 hasta 2019.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Valor máximo	111.58	97.5	181.5	119	88.79	106.83	130.5	107.83	75	73.71
Media	35.35	32.54	32.22	26.45	33.87	33.44	30.45	34.25	30.26	29.25
Desviación típica	16.55	12.95	14.58	13.21	13.63	15.24	12.54	13.79	11.82	12.18
Valor mínimo	3.58	6.33	5.92	2	3.61	10.17	9.13	9.92	6.29	7.83
Nº datos	363	365	366	353	346	349	309	311	213	345
Nº superaciones	49	33	22	16	37	43	18	34	14	29
Límite superior	65.03	56.5	62.47	47.14	64.23	60.28	54.66	62.93	57.57	55.45
Q3	41	37.35	39.07	30.26	40.54	38.37	35.97	40.01	36.03	34.67
Mediana	31.65	30.23	30	24.46	32.33	29.28	27.79	32.02	29.33	26.81
Q1	24.98	24.58	23.46	19.01	24.75	23.77	23.5	24.73	21.67	20.81
Límite inferior	0.95	5.43	0.05	2.13	1.07	1.87	4.8	1.81	0.13	0.03
Nº datos atípicos	21	19	10	19	12	23	11	15	5	12

Fig. 115.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de San Basilio en función del año, desde 2010 a 2019. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Comparación de los niveles de PM10 en función de la presencia de episodios de intrusión de polvo africano

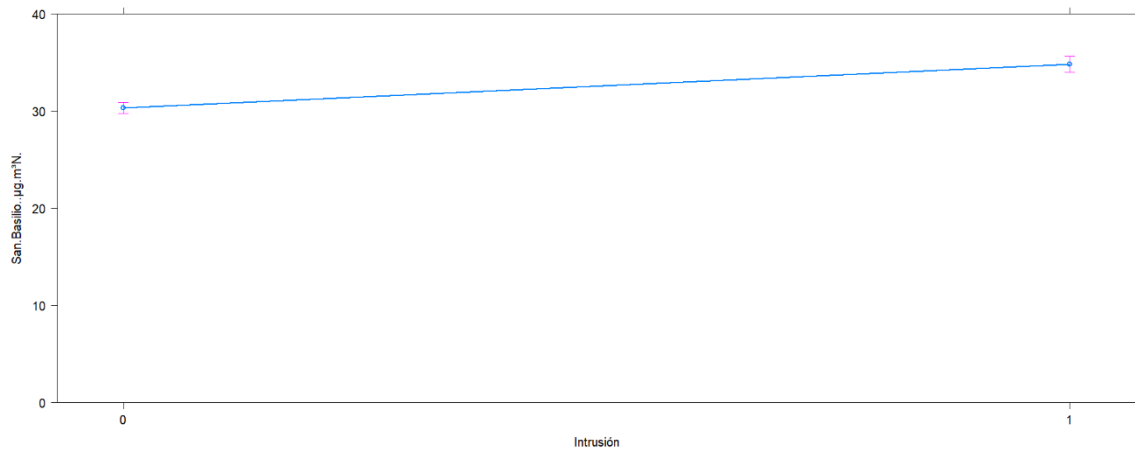


Fig. 116.- Concentración media global del material particulado PM10 en µg/Nm³ medido en la estación de San Basilio desde 2010 hasta 2019. 0: ausencia de episodio de polvo africano, 1: presencia de episodio de polvo africano.

```

                Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Intrusión      1  15077   15077   78.21 <2e-16 ***
Residuals    3318 639638     193
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
332 observations deleted due to missingness
    
```

Fig. 117.- Resultado de la realización de una tabla ANOVA de un factor (Intrusión) sobre el PM10 medido en la estación de San Basilio. Conclusión: se rechaza la hipótesis nula, el valor de PM10 durante los episodios de intrusión es significativamente superior al medido durante ausencia de estas. P-valor <0.001

	No int	Intr
Valor máximo	119	181.5
Media	30.32	34.8
Desviación típica	13.65	14.31
Valor mínimo	3.58	2
Nº datos	2167	1153
Nº superaciones	174	121
Límite superior	60.06	61.73
Q3	36.75	40.15
Mediana	27.85	31.15
Q1	21.21	25.76
Límite inferior	(<0)	4.18
Nº datos atípicos	72	62

Fig. 118.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de San Basilio desde 2010 a 2019 en función de la presencia o ausencias de episodios de intrusión. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en µg/Nm³.

Comparación de los niveles de PM10 en función del día de la semana y hora del día

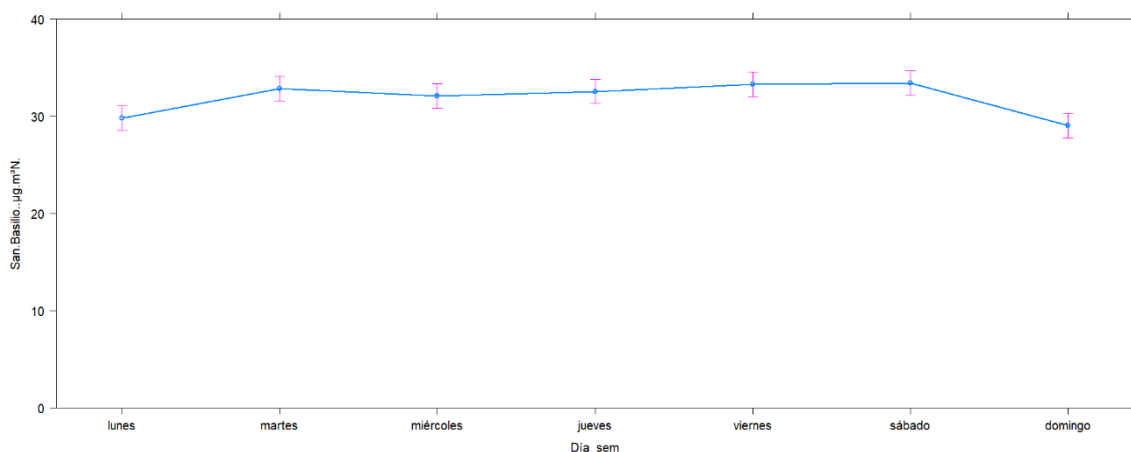


Fig. 119.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de San Basilio desde 2010 hasta 2019 en función del día de la semana.

lunes "ab" martes "c" miércoles "bc" jueves "c" viernes "c" sábado "c" domingo "a"

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Valor máximo	87.08	100.26	130.5	86.55	181.5	119	107.42
Media	29.81	32.84	32.06	32.55	33.29	33.4	29.06
Desviación típica	12.32	14.62	13.52	12.81	15.34	15.66	13.12
Valor mínimo	3.67	2	5.25	3.61	6.71	3.58	5.83
Nº datos	472	480	477	480	479	470	462
Nº superaciones	36	50	39	36	53	55	26
Límite superior	55.81	60.88	63.07	61.07	63.19	64.36	55.72
Q3	35.42	38.58	39.16	38.83	39.68	39.98	35.04
Mediana	27.25	29.92	29.33	30.46	30.69	29.79	26.63
Q1	21.83	23.71	23.22	24	24.01	23.73	21.25
Límite inferior	1.44	1.41	(<0)	1.76	0.5	(<0)	0.57
Nº datos atípicos	20	25	13	18	21	20	18

Fig. 120.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de San Basilio desde 2010 a 2019 en función del día de la semana. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

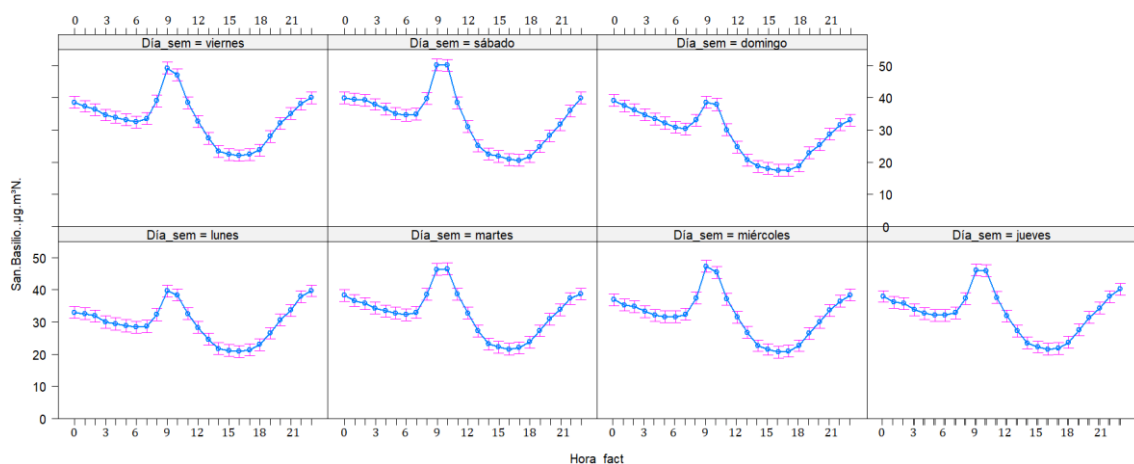


Fig. 121.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de San Basilio desde 2010 hasta 2019 en función del día de la semana y la hora del día.

Mes del año

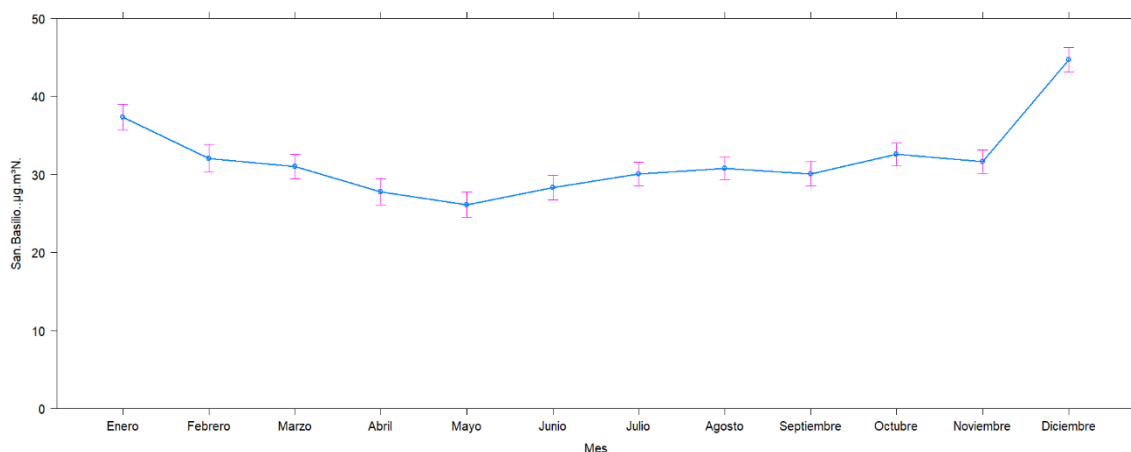


Fig. 122.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de San Basilio desde 2010 hasta 2019 en función del mes del año.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Valor máximo	97.5	86.38	83.38	84.46	63.05	73.17	54.08	82.67	62.54	181.5	107.83	119
Media	37.34	32.07	30.98	27.79	26.14	28.34	30.06	30.81	30.1	32.56	31.61	44.69
Desviación típica	18.02	15.43	13.3	11.5	8.18	8.32	7.68	10.13	8.84	15.21	14.53	21.26
Valor mínimo	3.61	2	5.25	5.92	7.92	12.75	3.67	11	11.71	6.29	7.08	3.58
Nºdatos	248	219	274	243	267	270	305	306	298	310	299	281
Nº superaciones	61	24	22	10	2	5	6	10	7	19	33	96
Límite superior	90.05	71.79	61.56	52.76	43.67	43.65	49.66	53.93	53.33	58.75	67.48	96.99
Q3	49.92	41.01	37.71	33.34	30.1	31.71	34.46	35.75	35.55	38.09	39.71	56.28
Mediana	34.08	30.75	30	25.69	25.29	26.83	28.96	29	29.04	30.21	29.4	40.98
Q1	23.17	20.49	21.81	20.4	21.06	23.75	24.32	23.63	23.69	24.31	21.2	29.14
Límite inferior	(<0)	(<0)	(<0)	0.98	7.5	11.81	9.12	5.45	5.91	3.65	(<0)	(<0)
Nº datos atípicos	2	5	9	4	6	13	7	6	4	10	6	7

Fig. 123.- Resúmenes numéricos mensuales de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de San Basilio desde 2010 a 2019 en función del mes del año. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Datos de PM10 procedentes de La Aljorra

Comparación de los niveles de PM10 anual entre los años 2010 y 2019

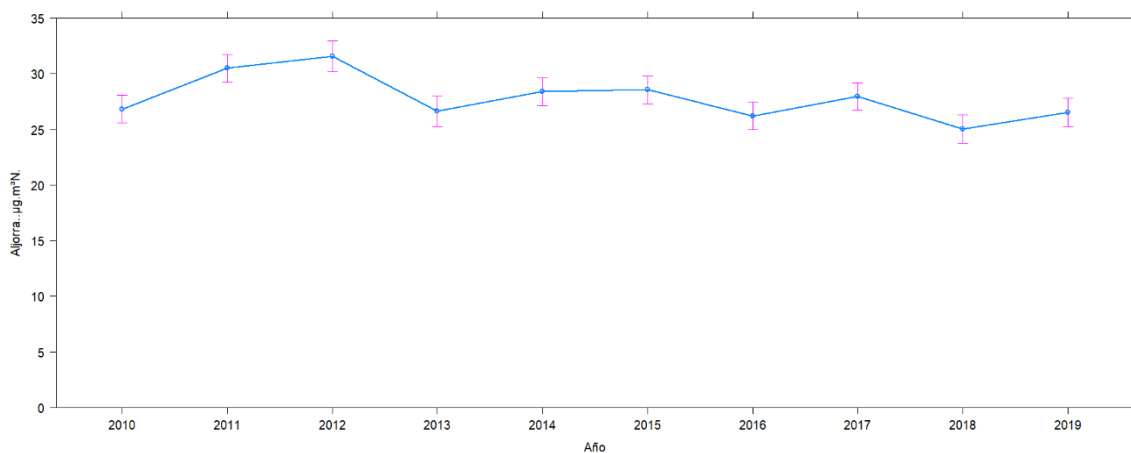


Fig. 124.- Concentración media anual del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de La Aljorra desde 2010 hasta 2019.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Valor máximo	87.21	68.54	161.2	147.54	85.67	71	122.92	120.71	64.79	87.23
Media	26.82	30.49	31.56	26.66	28.39	28.55	26.22	27.97	25.02	26.53
Desviación típica	9.67	10.84	13.39	13.83	11.83	11.46	14.41	12.37	10.87	11.58
Valor mínimo	6.13	8.29	5.96	6.25	5.46	7.54	4.29	5.33	5.58	7.17
Nº datos	358	359	282	292	362	365	366	365	345	354
Nº superaciones	10	17	16	7	19	15	18	15	10	14
Límite superior	46.93	58.77	55.82	48.67	51.54	55.56	48.19	50.19	50.82	54.54
Q3	31.17	37.3	36.61	31.04	33.04	34.5	30.17	32.38	30.68	32.82
Mediana	25.71	29.13	30.42	24.96	26.63	26.27	23.17	25.66	22.8	24.08
Q1	20.67	22.99	23.8	19.29	20.71	20.46	18.15	20.51	17.25	18.33
Límite inferior	4.91	1.52	4.58	1.66	2.2	(<0)	0.13	2.7	(<0)	(<0)
Nº datos atípicos	14	6	7	7	17	13	23	14	9	7

Fig. 125 Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de La Aljorra en función del año, desde 2010 a 2019. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Comparación de los niveles de PM10 en función de la presencia de episodios de intrusión de polvo africano

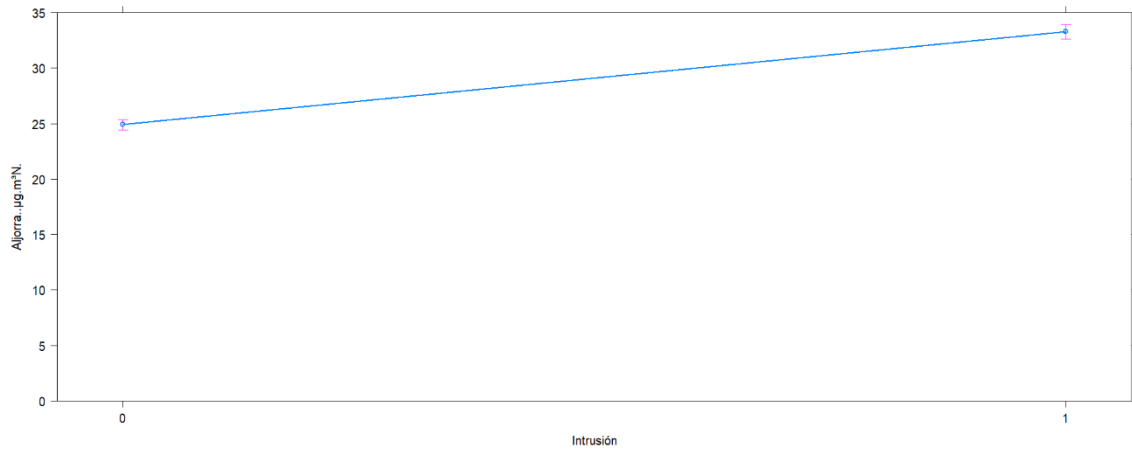


Fig. 126.- Concentración media global del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de La Aljorra desde 2010 hasta 2019. 0: ausencia de episodio de polvo africano, 1: presencia de episodio de polvo africano.

```

                Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Intrusión      1  54521    54521   411.6 <2e-16 ***
Residuals    3446 456488     132

```

```

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
204 observations deleted due to missingness

```

Fig. 127.- Resultado de la realización de una tabla ANOVA de un factor (Intrusión) sobre el PM10 medido en la estación de Alcantarilla. Conclusión: se rechaza la hipótesis nula, el valor de PM10 durante los episodios de intrusión es significativamente superior al medido durante ausencia de estas. P-valor <0.001

	No int	Intr
Valor máximo	147.54	161.2
Media	24.9	33.28
Desviación típica	10.37	13.43
Valor mínimo	4.29	8.5
Nº datos	2268	1180
Nº superaciones	45	96
Límite superior	47.43	56.86
Q3	29.67	37.83
Mediana	23.46	30.88
Q1	17.83	25.14
Límite inferior	0.07	6.11
Nº datos atípicos	67	60

Fig. 128.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de La Aljorra desde 2010 a 2019 en función de la presencia o ausencias de episodios de intrusión. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Comparación de los niveles de PM10 en función del día de la semana y hora del día.

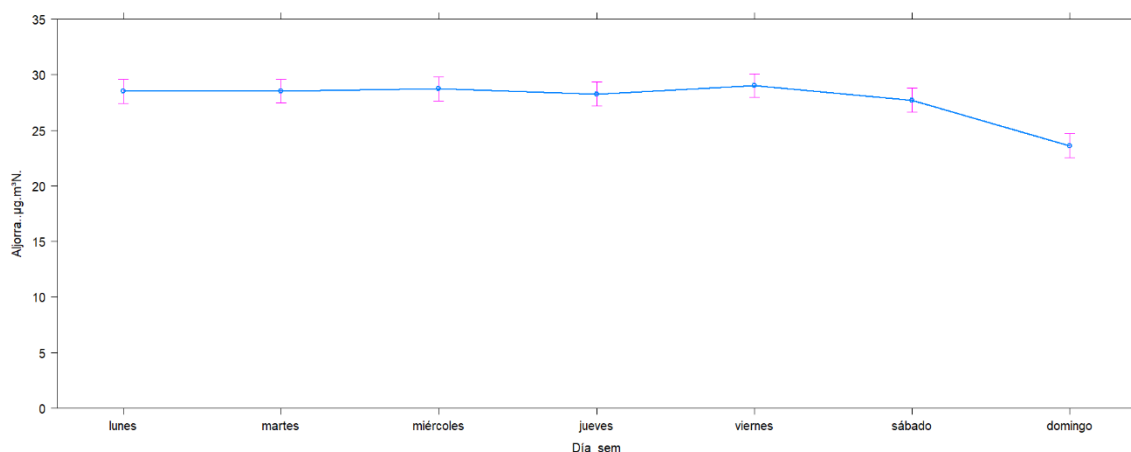


Fig. 129.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de La Aljorra desde 2010 hasta 2019 en función del día de la semana.

lunes martes miércoles jueves viernes sábado domingo
 "b" "b" "b" "b" "b" "b" "a"

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Valor máximo	102.63	139.17	118.75	69.04	161.2	147.54	120.71
Media	28.49	28.52	28.71	28.26	29.01	27.7	23.61
Desviación típica	12.03	13.17	12.37	10.56	12.18	12.89	11
Valor mínimo	6	4.29	8.46	5.33	8.42	7.17	5.46
Nº datos	491	495	497	495	495	492	483
Nº superaciones	20	22	24	22	17	23	13
Límite superior	53.63	52.71	54.14	54.79	54.66	54.11	46.02
Q3	33.95	33.22	34.11	34.43	34.93	33.17	28.26
Mediana	26.25	26.4	26.12	26.75	27.21	25.5	21.29
Q1	20.83	20.23	20.76	20.86	21.78	19.21	16.42
Límite inferior	1.15	0.75	0.73	0.5	2.06	(<0)	(<0)
Nº datos atípicos	16	20	19	12	13	16	17

Fig. 130.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de La Aljorra desde 2010 a 2019 en función del día de la semana. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

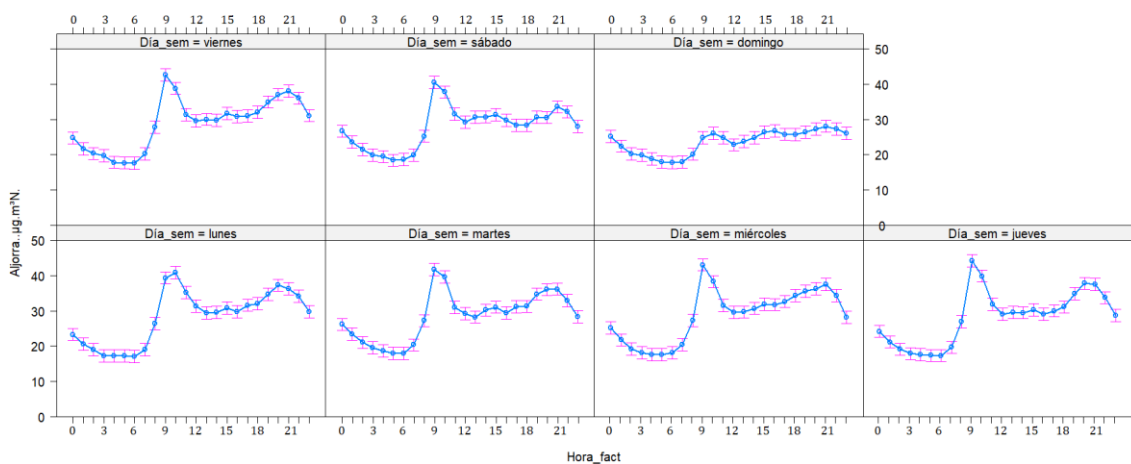


Fig. 131.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de La Aljorra desde 2010 hasta 2019 en función del día de la semana y la hora del día.

Mes del año

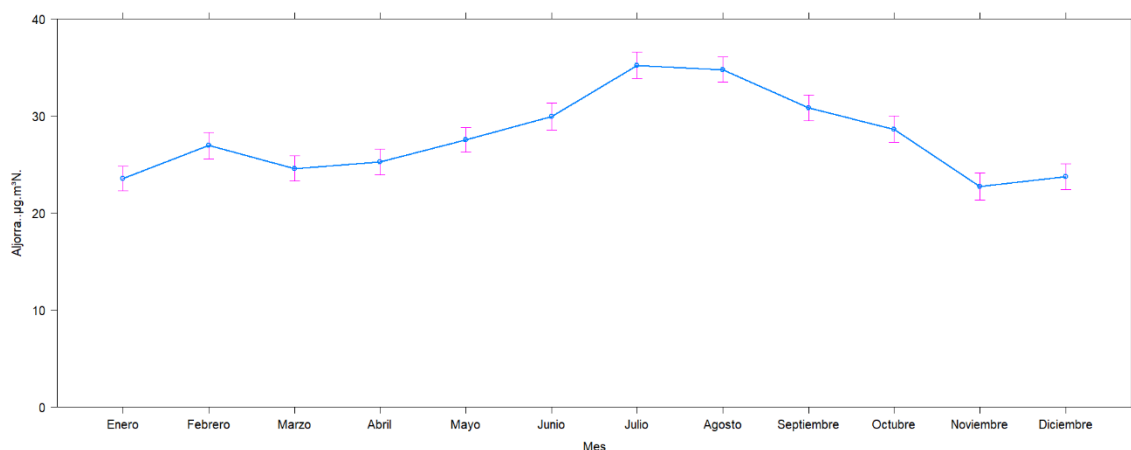


Fig. 132.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de La Aljorra desde 2010 hasta 2019 en función del mes del año.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Valor máximo	147.54	122.92	139.17	64.79	76.5	161.2	68.54	82.17	87.23	118.75	92.63	69.96
Media	23.53	26.94	24.58	25.25	27.53	29.94	35.2	34.76	30.82	28.62	22.71	23.75
Desviación típica	11.42	14.65	13.1	10.05	9.44	12.48	9.42	12.25	11.76	12.66	10.64	8.91
Valor mínimo	5.33	8.42	4.29	6.25	8.71	9.38	11.25	11.63	9.25	5.83	6.13	6
Nº datos	310	270	307	292	306	263	275	297	297	278	270	283
Nº superaciones	4	9	8	8	8	9	14	35	20	14	7	5
Límite superior	45.83	49.46	48.88	46.38	49.46	51.11	61.51	66.93	58.43	53.33	43.02	42.94
Q3	28.31	31.13	29.34	29.5	32.3	34.44	41.45	42.13	36.79	33.48	26.67	27.76
Mediana	22.54	24	22.88	23.83	26.04	28.35	34.54	32.48	28.11	27.33	20.63	22.94
Q1	16.63	18.9	16.32	18.25	20.85	23.33	28.08	25.59	22.36	20.25	15.77	17.64
Límite inferior	(<0)	0.56	(<0)	1.38	3.69	6.66	8.02	0.79	0.72	0.4	(<0)	2.45
Nº datos atípicos	5	10	8	11	9	7	3	3	10	12	13	9

Fig. 133.- Resúmenes numéricos mensuales de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de La Aljorra desde 2010 a 2019 en función del mes del año. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Datos de PM10 procedentes de Alumbres

Comparación de los niveles de PM10 anual entre los años 2010 y 2019

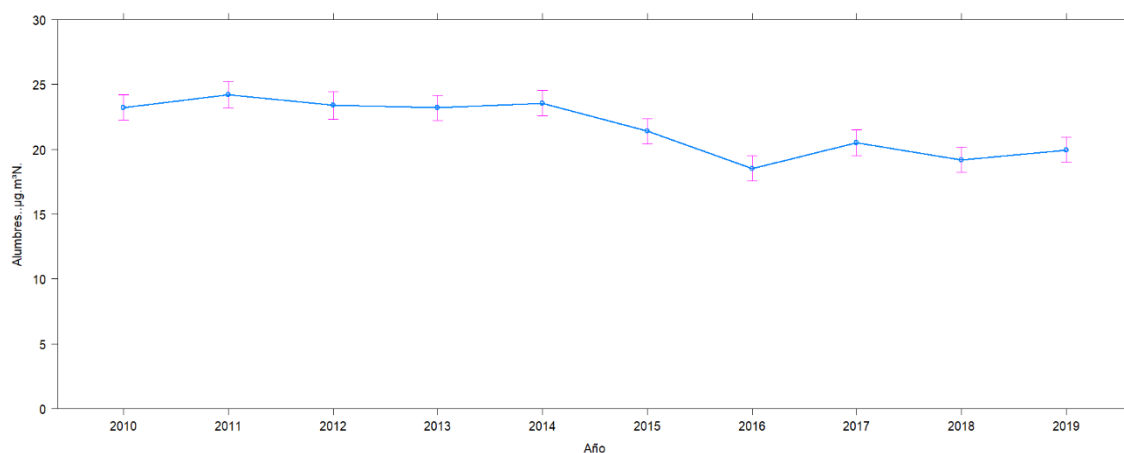


Fig. 134.- Concentración media anual del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Alumbres desde 2010 hasta 2019.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Valor máximo	76.21	60.33	134.71	179.5	79.67	62.58	97.46	108.04	50.79	55.29
Media	23.22	24.21	23.38	23.2	23.54	21.4	18.52	20.52	19.19	19.95
Desviación típica	8.42	8.49	11.22	11.02	9.37	8.57	9.84	11.08	8.11	8.05
Valor mínimo	6.29	6.75	2.67	7.08	6.21	6.04	5.13	6	2.71	5.33
Nº datos	365	345	308	359	364	365	365	348	365	365
Nº superaciones	3	3	4	2	7	2	5	8	1	2
Límite superior	41.6	45.32	43.21	42.99	45.07	42.23	35.28	35.11	38.52	37.24
Q3	27.27	28.97	27.46	27.6	28.33	26.05	21.7	22.67	23.62	23.72
Mediana	22.37	23.09	22.17	22.17	21.75	19.81	17.4	18.46	18	18.23
Q1	17.72	18.07	16.96	17.35	17.17	15.26	12.64	14.38	13.68	14.71
Límite inferior	3.39	1.72	1.21	1.97	0.43	(<0)	(<0)	1.94	(<0)	1.19
Nº datos atípicos	12	3	11	3	10	10	13	21	10	16

Fig. 135.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Alumbres en función del año, desde 2010 a 2019. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Comparación de los niveles de PM10 en función de la presencia de episodios de intrusión de polvo africano

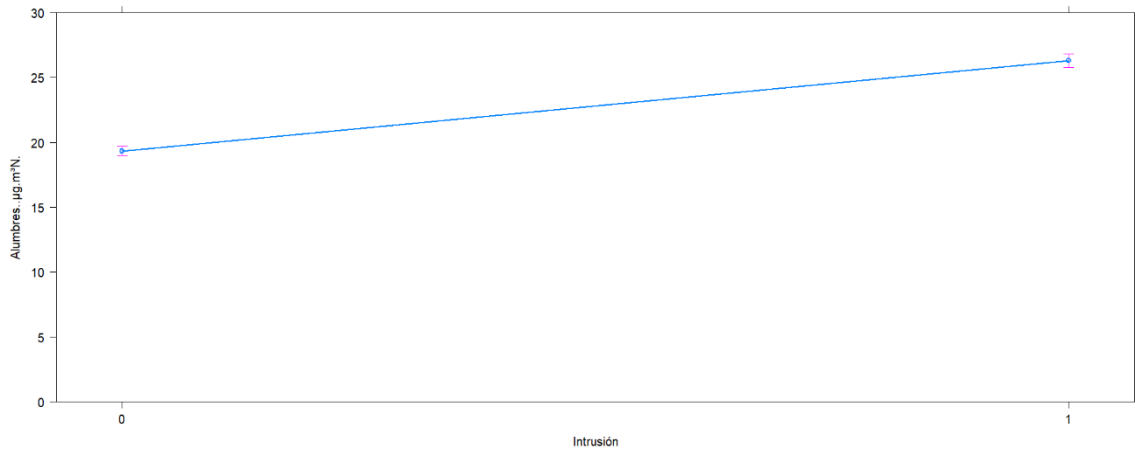


Fig. 136.- Concentración media global del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Alumbres desde 2010 hasta 2019. 0: ausencia de episodio de polvo africano, 1: presencia de episodio de polvo africano.

```

Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Intrusión      1  38536    38536   468.7 <2e-16 ***
Residuals 3547  291652      82
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
103 observations deleted due to missingness
    
```

Fig. 137.- Resultado de la realización de una tabla ANOVA de un factor (Intrusión) sobre el PM10 medido en la estación de Alcantarilla. Conclusión: se rechaza la hipótesis nula, el valor de PM10 durante los episodios de intrusión es significativamente superior al medido durante ausencia de estas. P-valor <0.001

	No int	Intr
Valor máximo	55.75	21.88
Media	19.33	19.46
Desviación típica	7.47	23.75
Valor mínimo	2.67	18.79
Nº datos	2355	13.58
Nº superaciones	3	19.88
Límite superior	38.06	27.04
Q3	23.64	33.88
Mediana	18.21	76.21
Q1	14.03	53.33
Límite inferior	(<0)	42.29
Nº datos atípicos	53	30.63

Fig. 138.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Alumbres desde 2010 a 2019 en función de la presencia o ausencias de episodios de intrusión. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Comparación de los niveles de PM10 en función del día de la semana y mes del año.

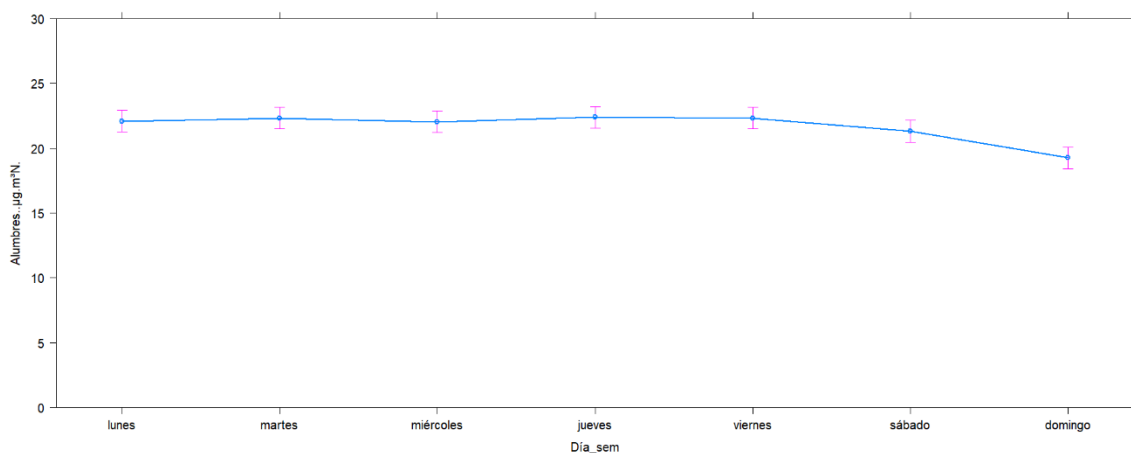


Fig. 139.- Concentración media del material particulado PM10 en µg/Nm³ medido en la estación de Alumbres desde 2010 hasta 2019 en función del día de la semana.

lunes "b" martes "b" miércoles "b" jueves "b" viernes "b" sábado "b" domingo "a"

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Valor máximo	73.83	179.5	97.46	108.04	134.71	79.67	89.54
Media	22.07	22.31	22.04	22.39	22.32	21.31	19.26
Desviación típica	9.39	11.52	9.21	9.22	9.8	9.09	8.68
Valor mínimo	5.54	2.67	5.75	5.29	6.04	5.38	2.71
Nº datos	509	508	507	508	507	506	504
Nº superaciones	8	6	4	4	5	5	5
Límite superior	42.18	42	43.25	43.09	42.1	41.77	36.89
Q3	26.35	26.25	26.72	26.96	26.7	25.77	22.88
Mediana	20.58	20.29	20.33	20.96	20.77	19.75	17.96
Q1	15.8	15.75	15.7	16.21	16.44	15.11	13.54
Límite inferior	(<0)	0	(<0)	0.09	1.05	(<0)	(<0)
Nº datos atípicos	18	16	13	11	9	16	16

Fig. 140.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Alumbres desde 2010 a 2019 en función del día de la semana. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en µg/Nm³.

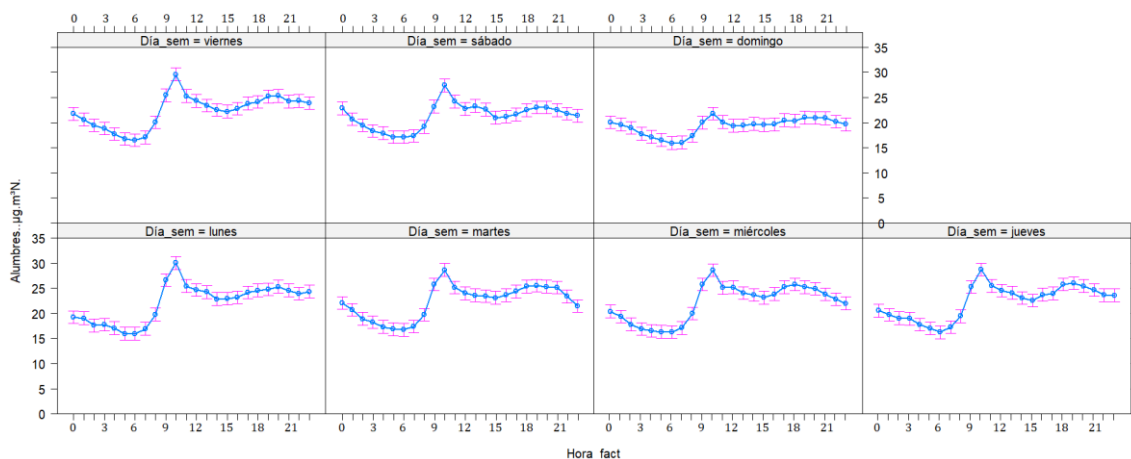


Fig. 141.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Alcantarilla desde 2010 hasta 2019 en función del día de la semana y la hora del día.

Mes del año

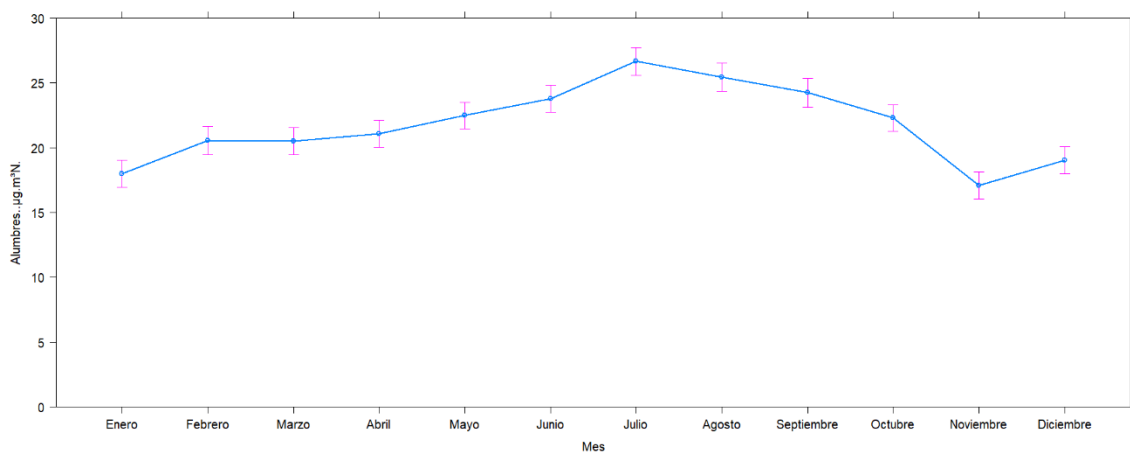


Fig. 142.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Alumbres desde 2010 hasta 2019 en función del mes del año.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Valor máximo	60.33	89.54	179.5	57.58	55.75	76.58	53.63	108.04	55.29	134.71	64.67	62.58
Media	17.99	20.55	20.5	21.08	22.48	23.76	26.65	25.42	24.23	22.29	17.09	19.02
Desviación típica	6.6	11.53	12.93	7.9	7.46	7.93	7.04	9.43	9.19	12.68	7.73	7.52
Valor mínimo	5.54	5.5	3.96	7.08	8.29	7.5	11.63	11.25	9.38	2.67	5.29	5.33
Nºdatos	310	282	309	300	310	300	279	276	271	309	300	303
Nº superaciones	1	7	5	2	2	2	1	3	3	6	3	2
Límite superior	34.87	38.37	40.06	39.25	41.82	42.04	44.81	44.31	49.45	44.37	31.1	36.8
Q3	22.15	23.59	24.3	25	26.98	27.79	30.82	29.17	30.41	26.6	19.79	23.05
Mediana	16.88	18.33	18.56	20.13	21.75	22.5	25.71	23.79	22.04	19.98	16.08	18.27
Q1	13.67	13.73	13.8	15.5	17.09	18.29	21.5	19.08	17.72	14.75	12.25	13.88
Límite inferior	0.95	(<0)	(<0)	1.25	2.24	4.04	7.52	3.94	(<0)	(<0)	0.94	0.13
Nº datos atípicos	5	14	11	11	6	8	4	8	3	10	16	6

Fig. 143.- Resúmenes numéricos mensuales de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Alumbres desde 2010 a 2019 en función del mes del año. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Datos de PM10 procedentes de Mompean

Comparación de los niveles de PM10 anual entre los años 2010 y 2019

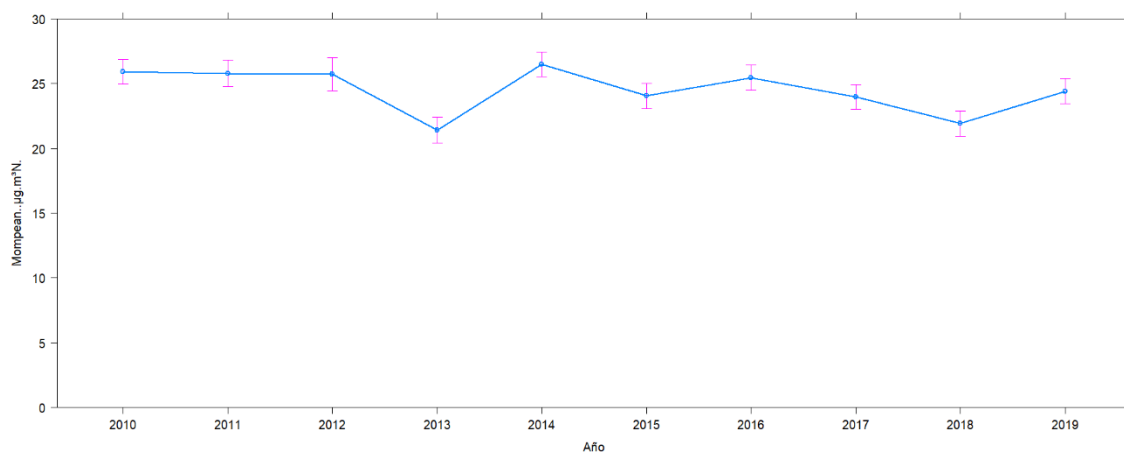


Fig. 144.- Concentración media anual del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Mompean desde 2010 hasta 2019.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Valor máximo	69.63	54.47	120.5	103.04	77.21	59.96	128.46	88.75	54.38	64.13
Media	25.92	25.79	25.71	21.41	26.48	24.04	25.45	23.96	21.91	24.41
Desviación típica	8.15	7.11	11.38	9.42	8.7	8.21	13.91	9.64	7.54	8.09
Valor mínimo	8.79	7.6	6.17	5	5.78	7.46	7.21	5.75	3.96	7.63
Nº datos	364	334	207	343	364	362	361	365	348	365
Nº superaciones	3	3	2	1	6	4	13	7	3	5
Límite superior	45.76	44.52	53.83	42.52	45.21	43.2	44.03	43.07	40.41	43.96
Q3	30.5	30.21	32.39	25.85	30.58	28.17	28.45	28.02	26.29	29.04
Mediana	25.04	25.38	25.8	19.93	25.83	22.92	23.75	22.63	21.46	23.35
Q1	20.33	20.67	18.1	14.74	20.83	18.15	18.06	17.99	16.88	19.09
Límite inferior	5.07	6.36	(<0)	(<0)	6.2	3.12	2.48	2.95	2.76	4.17
Nº datos atípicos	7	4	2	5	14	9	17	14	8	10

Fig. 145.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Mompean en función del año, desde 2010 a 2019. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Comparación de los niveles de PM10 en función de la presencia de episodios de intrusión de polvo africano

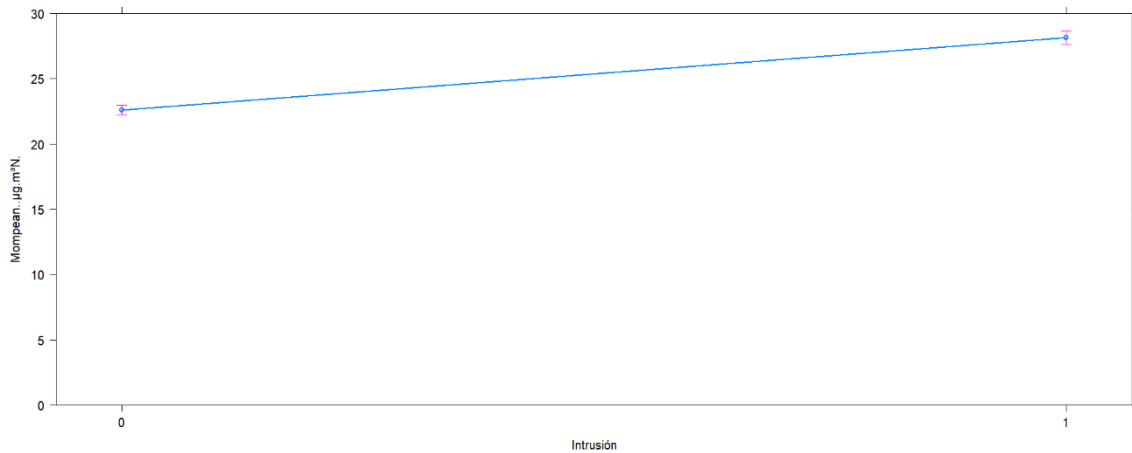


Fig. 146.- Concentración media global del material particulado PM10 en µg/Nm³ medido en la estación de Mompean desde 2010 hasta 2019. 0: ausencia de episodio de polvo africano, 1: presencia de episodio de polvo africano.

```
> AnovaModel.2 <- aov(Mompean..µg.m³N. ~ Intrusión, data = Dataset)

> summary(AnovaModel.2)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Intrusión     1  23645    23645   285.7 <2e-16 ***
Residuals   3411 282293      83
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
239 observations deleted due to missingness
```

Fig. 147.- Resultado de la realización de una tabla ANOVA de un factor (Intrusión) sobre el PM10 medido en la estación de Alcantarilla. Conclusión: se rechaza la hipótesis nula, el valor de PM10 durante los episodios de intrusión es significativamente superior al medido durante ausencia de estas. P-valor <0.001

	No int	Intr
Valor máximo	94.75	128.46
Media	22.59	28.15
Desviación típica	7.75	11.27
Valor mínimo	3.96	8.79
Nºdatos	2256	1157
Nº superaciones	5	42
Límite superior	42.41	47.85
Q3	27.29	32.04
Mediana	22.13	25.96
Q1	17.21	21.5
Límite inferior	2.09	5.69
Nº datos atípicos	27	47

Fig. 148.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Mompean en función de la presencia o ausencias de episodios de intrusión. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en µg/Nm³.

Comparación de los niveles de PM10 en función del día de la semana y hora del día.

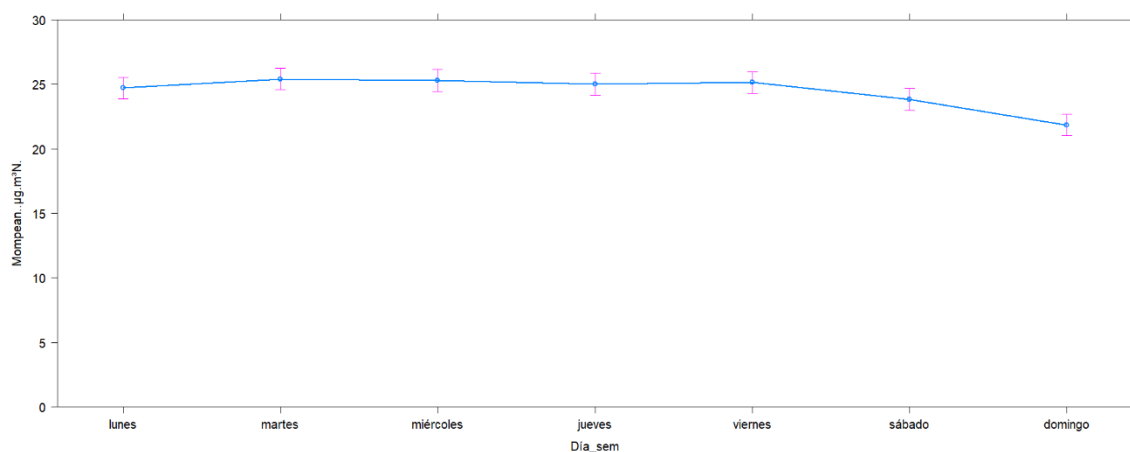


Fig. 149.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Mompean desde 2010 hasta 2019 en función del día de la semana..

lunes martes miércoles jueves viernes sábado domingo
 "b" "b" "b" "b" "b" "b" "a"

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Valor máximo	117.21	108.96	128.46	59.42	120.5	77.21	88.75
Media	24.72	25.4	25.3	25.01	25.15	23.83	21.85
Desviación típica	9.88	10.52	10.12	7.95	9.63	8.74	8.7
Valor mínimo	5.67	6.17	8.25	6.04	8.38	5.75	3.96
Nºdatos	490	491	488	487	492	485	480
Nº superaciones	11	9	6	5	4	6	6
Límite superior	46.89	46.02	44.04	44.91	42.87	43.62	40.83
Q3	29.71	29.83	29.29	29.43	29	28.42	26.13
Mediana	24	24.38	24	24.13	24.04	22.67	20.42
Q1	18.26	19.04	19.46	19.11	19.75	18.29	16.33
Límite inferior	1.08	2.86	4.72	3.62	5.88	3.09	1.63
Nº datos atípicos	12	11	17	7	13	10	10

Fig. 150.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Mompean desde 2010 a 2019 en función del día de la semana. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

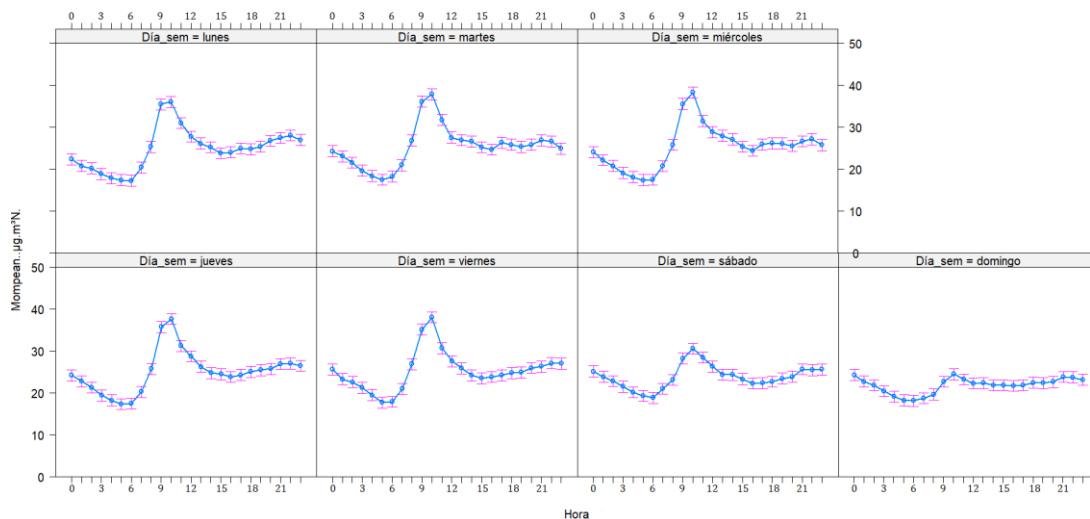


Fig. 151.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Mompean desde 2010 hasta 2019 en función del día de la semana y la hora del día.

Mes del año

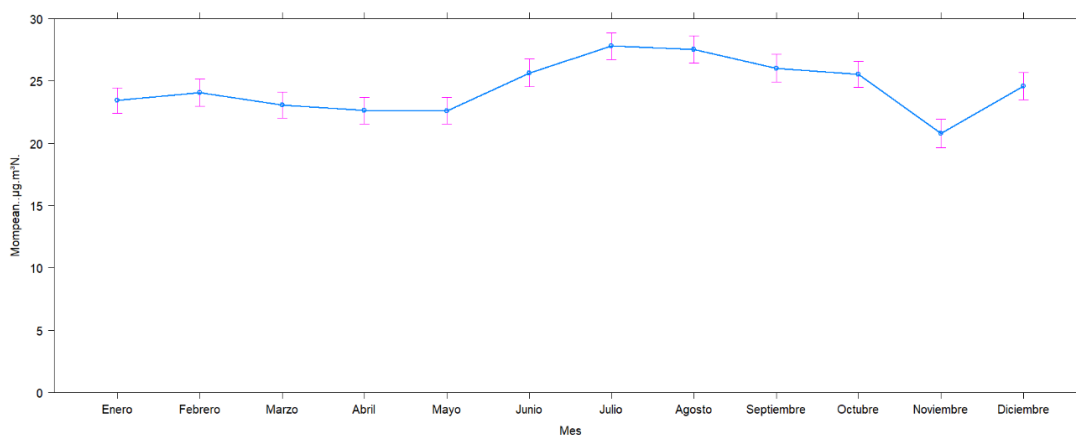


Fig. 152.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Mompean desde 2010 hasta 2019 en función del mes del año.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Valor máximo	51.42	88.75	103.04	54.08	54.29	128.46	59.38	94.75	64.13	120.5	59.63	59.42
Media	23.42	24.07	23.06	22.62	22.61	25.64	27.8	27.53	26.01	25.52	20.78	24.58
Desviación típica	8.43	11.83	9.88	7.35	7.06	12.2	7.05	9.04	8.53	11.16	7.88	8.95
Valor mínimo	5.75	7.42	6.17	5	7.79	9.04	12.75	12.17	7.6	3.96	5.67	7.17
Nºdatos	307	281	304	296	287	270	287	284	266	300	257	274
Nº superaciones	1	8	4	3	1	5	2	6	6	6	3	2
Límite superior	48.7	46.87	45.68	40.64	41.43	40	45.07	46.76	42.4	48.26	39.29	44.35
Q3	29.35	28.62	28.17	26.71	27.01	28.06	31.82	31.33	29.09	30.38	24.87	28.79
Mediana	22.98	21.96	22.08	21.83	21.73	24	27.31	25.92	24.96	24.29	20.48	24.04
Q1	16.46	16.45	16.5	17.42	17.4	20.1	22.99	21.04	20.21	18.46	15.25	18.42
Límite inferior	(<0)	(<0)	(<0)	3.49	2.98	8.16	9.74	5.61	6.9	0.58	0.82	2.87
Nº datos atípicos	2	8	6	7	4	12	6	10	15	7	7	6

Fig. 153.- Resúmenes numéricos mensuales de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Mompean desde 2010 a 2019 en función del mes del año. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Datos de PM10 procedentes de Valle de Escombreras

Comparación de los niveles de PM10 anual entre los años 2010 y 2019

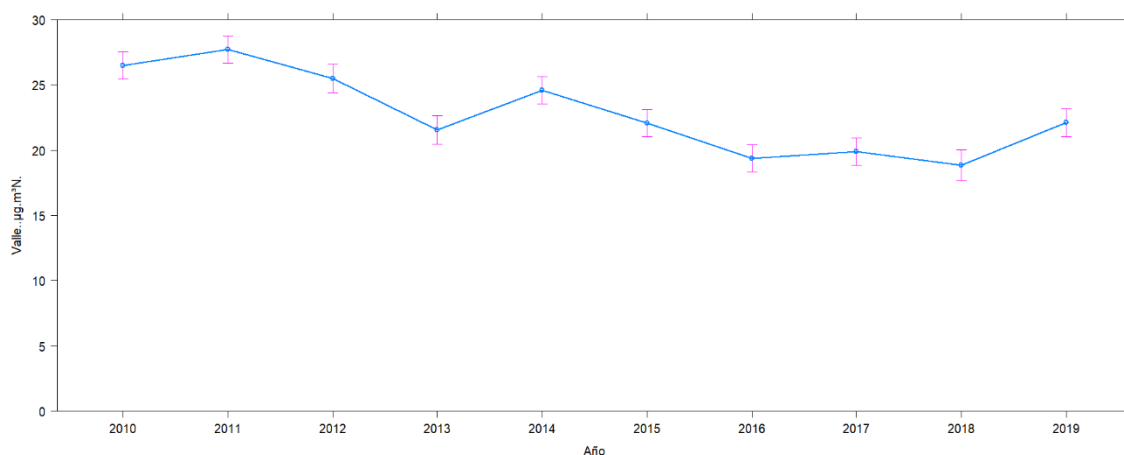


Fig. 154.- Concentración media anual del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Valle de Escombreras desde 2010 hasta 2019.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Valor máximo	79.13	62.04	146.29	163.83	72	62.92	106.21	83.67	85.08	54.46
Media	26.48	27.72	25.49	21.55	24.58	22.07	19.38	19.9	18.84	22.09
Desviación típica	9.64	9.67	14.31	10.84	9.58	9.43	9.99	9.59	8.61	9.39
Valor mínimo	7.09	6.25	5.33	5.67	5.88	5.46	4.33	4.46	1	5.17
Nº datos	358	365	330	339	365	362	366	364	282	356
Nº superaciones	6	8	8	4	8	3	4	5	2	9
Límite superior	50.93	52.12	50.01	37.7	43.92	44.81	34.11	37.5	35.22	43
Q3	32.09	33.19	30.48	25.05	28.5	26.81	22.08	23.5	22.31	26.58
Mediana	25.67	27.04	23.71	20.42	23.64	20.38	17.92	18.08	17.58	19.79
Q1	19.52	20.57	17.46	16.62	18.22	14.81	14.06	14.17	13.71	15.63
Límite inferior	0.67	1.65	(<0)	3.97	2.8	(<0)	2.03	0.17	0.8	(<0)
Nº datos atípicos	6	6	8	9	16	12	15	14	10	16

Fig. 155.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Valle de Escombreras en función del año, desde 2010 a 2019. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Comparación de los niveles de PM10 en función de la presencia de episodios de intrusión de polvo africano

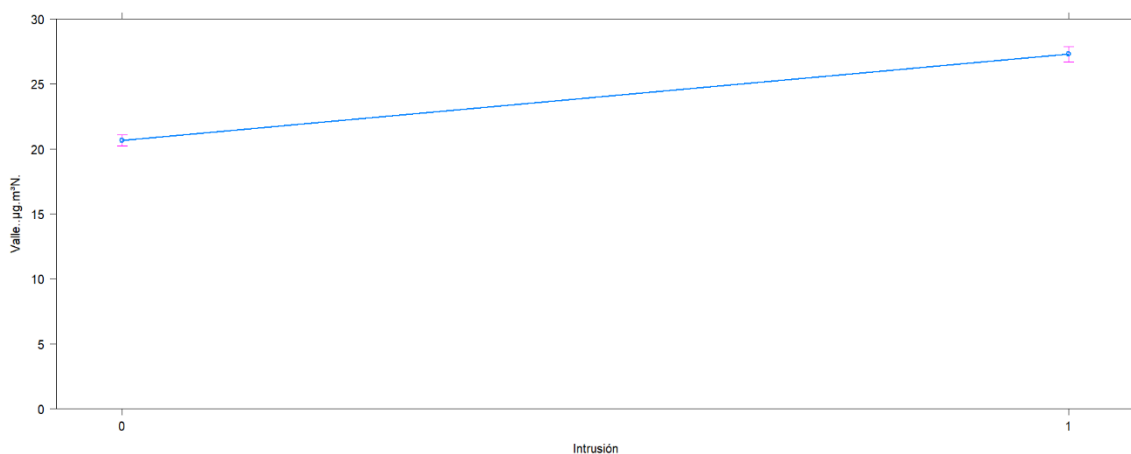


Fig. 156.- Concentración media global del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Valle de Escombreras desde 2010 hasta 2019. 0: ausencia de episodio de polvo africano, 1: presencia de episodio de polvo africano.

```

                Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Intrusión      1  34047   34047   331.8 <2e-16 ***
Residuals    3485 357575     103

```

```

----
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
165 observations deleted due to missingness

```

Fig. 157.- Resultado de la realización de una tabla ANOVA de un factor (Intrusión) sobre el PM10 medido en la estación de Valle de Escombreras. Conclusión: se rechaza la hipótesis nula, el valor de PM10 durante los episodios de intrusión es significativamente superior al medido durante ausencia de estas. P-valor <0.001

	No int	Intr
Valor máximo	136	163.83
Media	20.65	27.26
Desviación típica	8.83	12.29
Valor mínimo	3.25	1
Nº datos	2312	1175
Nº superaciones	11	46
Límite superior	42.16	48.99
Q3	25.54	31.47
Mediana	19.17	24.81
Q1	14.46	19.79
Límite inferior	(<0)	2.27
Nº datos atípicos	52	51

Fig. 158.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Valle de Escombreras desde 2010 a 2019 en función de la presencia o ausencias de episodios de intrusión. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Comparación de los niveles de PM10 en función del día de la semana y hora del día

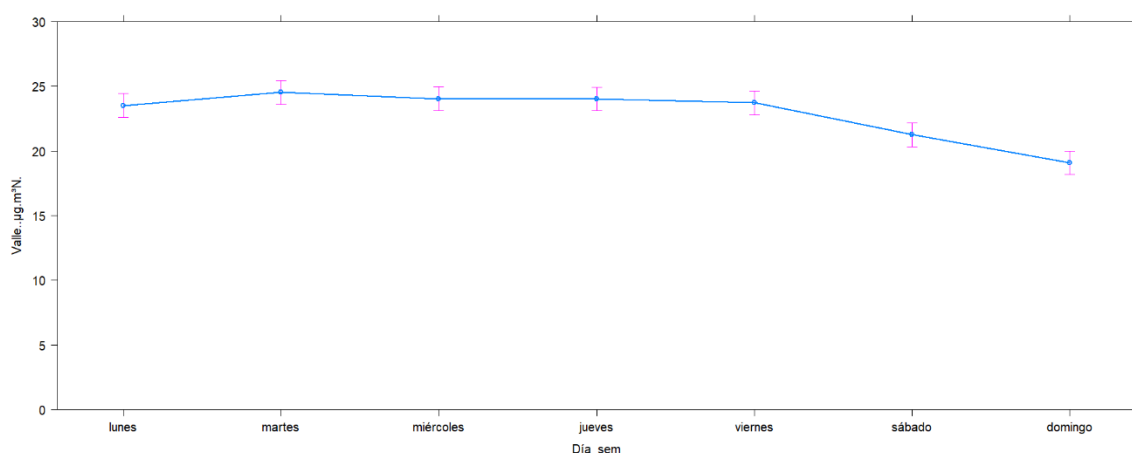


Fig. 159.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Valle de Escombreras desde 2010 hasta 2019 en función del día de la semana.

lunes "c" martes "c" miércoles "c" jueves "c" viernes "c" sábado "b" domingo "a"

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Valor máximo	74	163.83	97.04	118.5	146.29	79.13	83.67
Media	23.51	24.52	24.03	24.01	23.72	21.24	19.08
Desviación típica	10.03	13.3	9.91	10.06	10.67	9.51	9.06
Valor mínimo	4.67	5.08	1	6.46	6	4.33	3.25
Nº datos	498	502	498	500	499	496	494
Nº superaciones	8	13	7	8	8	6	7
Límite superior	45.59	46.25	47.67	45.28	47.14	42.85	37.98
Q3	28.31	28.92	29.48	28.46	29.14	25.79	23.04
Mediana	21.5	22.58	22.21	22.5	21.96	19.5	17.38
Q1	16.79	17.37	17.35	17.25	17.14	14.42	13.08
Límite inferior	(<0)	0.04	(<0)	0.43	(<0)	(<0)	(<0)
Nº datos atípicos	17	19	10	12	9	15	14

Fig. 160.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Valle de Escombreras desde 2010 a 2019 en función del día de la semana. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

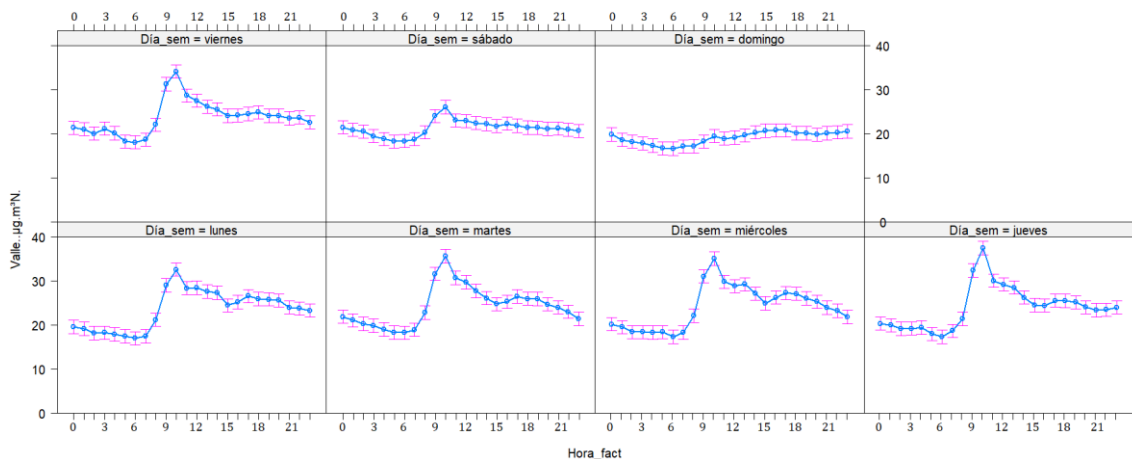


Fig. 161.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Valle de Escombreras desde 2010 hasta 2019 en función del día de la semana y la hora del día.

Mes del año

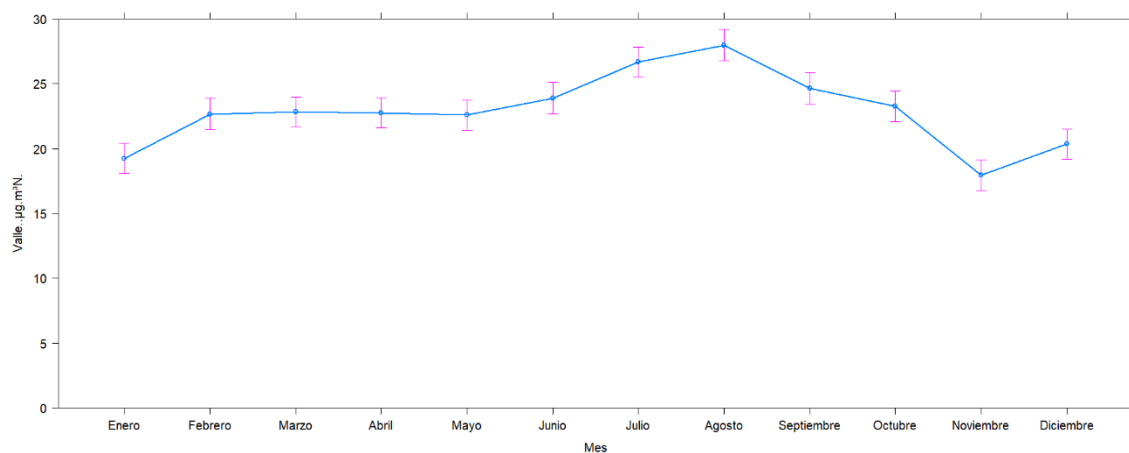


Fig. 162.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Valle de Escombreras desde 2010 hasta 2019 en función del mes del año.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Valor máximo	59.08	106.21	163.83	85.08	51.63	136	52.46	67.33	54.46	146.29	68.58	62.92
Media	19.23	22.66	22.83	22.75	22.57	23.89	26.66	27.97	24.64	23.25	17.96	20.35
Desviación típica	8.17	12.43	13.04	9.48	7.87	10.64	7.08	9.74	9.39	14.6	8.91	9
Valor mínimo	4.33	5.71	4.67	6.58	5.58	5.67	11.48	1	8.21	3.25	4.46	4.67
Nº datos	301	282	307	294	292	280	307	280	270	296	285	293
Nº superaciones	2	8	7	3	2	6	3	7	4	9	3	3
Límite superior	39.49	45.08	44.16	44.14	42.98	42.46	43.87	54.41	49.82	47.14	32.71	40.05
Q3	23.83	27.11	26.84	27.52	27.29	27.83	30.64	33.96	30.56	27.58	20.44	24.7
Mediana	17.6	20.25	20.72	20.58	21.29	22.29	25.63	26.58	22.54	20.25	16.4	18.86
Q1	13.39	15.13	15.3	16.44	16.83	18.08	21.82	20.33	17.73	14.54	12.26	14.47
Límite inferior	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	1.14	3.45	8.59	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)
Nº datos atípicos	5	9	13	7	5	7	10	2	5	11	17	12

Fig. 163.- Resúmenes numéricos mensuales de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Valle de Escombreras desde 2010 a 2019 en función del mes del año. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Datos de PM10 procedentes de Caravaca

Comparación de los niveles de PM10 anual entre los años 2010 y 2019

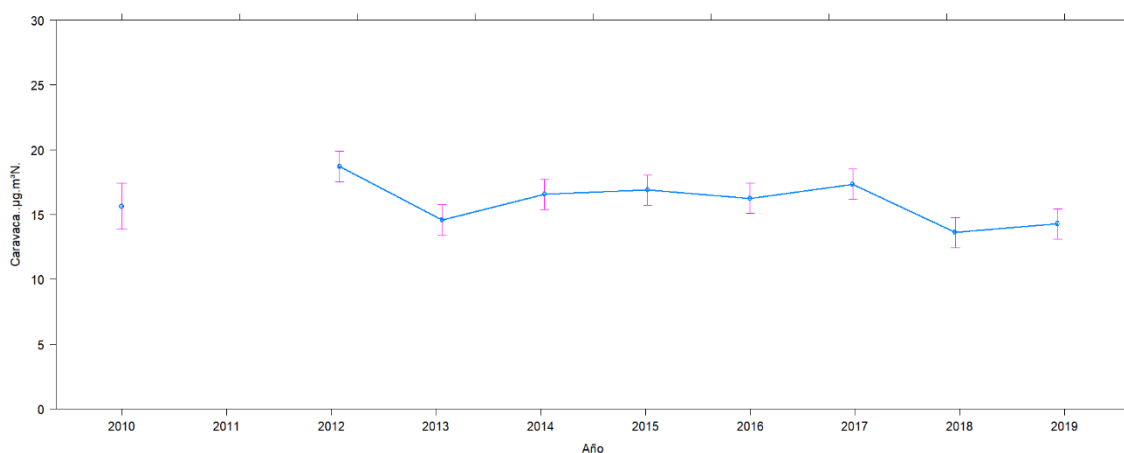


Fig. 164.- Concentración media anual del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Caravaca desde 2010 hasta 2019.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Valor máximo	105.13	-	196.38	52.42	53.33	94.29	151.13	95	44.33	64.83
Media	15.63	-	18.46	14.35	16.31	16.65	16.01	17.1	13.38	14.04
Desviación típica	11.51	-	15.86	7.73	9.15	11.11	15.08	11.14	7.99	9.18
Valor mínimo	4.21	-	1.88	1.54	3.13	3.38	1.92	3.04	2.54	2.5
Nº datos	153	0	342	353	361	360	364	360	363	365
Nº superaciones	2	-	10	1	2	5	8	4	0	3
Límite superior	29.2	-	46.69	37.52	41.81	33.62	36.23	39.56	33.29	35.79
Q3	17.58	-	24.19	19.38	22.03	19.25	19.04	21.5	17.56	18.29
Mediana	12.86	-	15.04	13.48	14.46	13.79	11.75	14.63	11.59	12.56
Q1	9.84	-	9.19	7.29	8.84	9.67	7.58	9.46	7.08	6.62
Límite inferior	(<0)	-	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)
Nº datos atípicos	10	-	13	3	5	30	19	15	6	11

Fig. 165.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Caravaca en función del año, desde 2010 a 2019. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Comparación de los niveles de PM10 en función de la presencia de episodios de intrusión de polvo africano

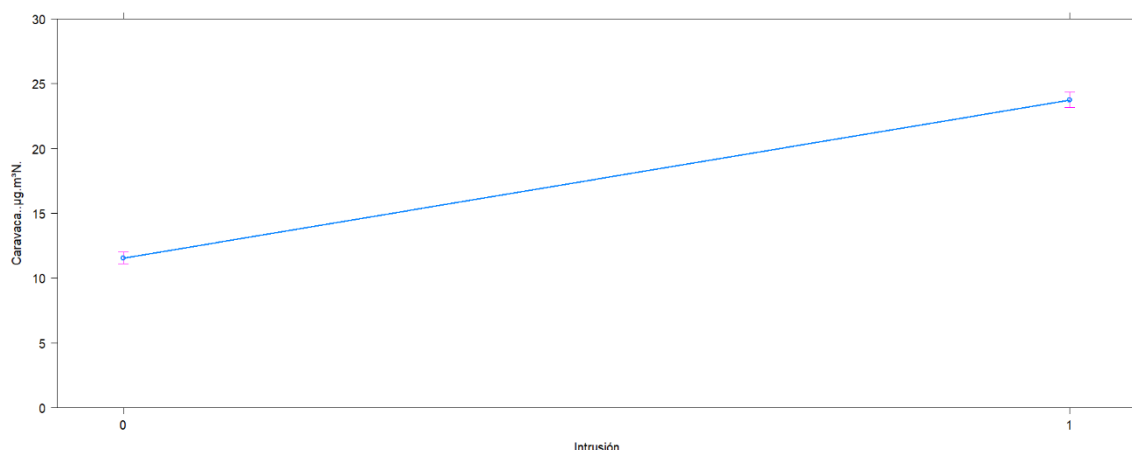


Fig. 166.- Concentración media global del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Alcantarilla desde 2010 hasta 2019. 0: ausencia de episodio de polvo africano, 1: presencia de episodio de polvo africano.

```

                Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Intrusión      1 101448  101448    1062 <2e-16 ***
Residuals    3019 288311      95
    
```

```

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
631 observations deleted due to missingness
    
```

Fig. 167.- Resultado de la realización de una tabla ANOVA de un factor (Intrusión) sobre el PM10 medido en la estación de Alcantarilla. Conclusión: se rechaza la hipótesis nula, el valor de PM10 durante los episodios de intrusión es significativamente superior al medido durante ausencia de estas. P-valor <0.001

	No int	Intr
Valor máximo	53.33	196.38
Media	11.56	23.75
Desviación típica	6.25	14.24
Valor mínimo	1.54	3.54
Nº datos	1979	1042
Nº superaciones	1	34
Límite superior	27.53	46.64
Q3	14.96	28.02
Mediana	10.21	20.88
Q1	6.58	15.61
Límite inferior	(<0)	(<0)
Nº datos atípicos	42	46

Fig. 168.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Caravaca desde 2010 a 2019 en función de la presencia o ausencias de episodios de intrusión. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Comparación de los niveles de PM10 en función del día de la semana y hora del día

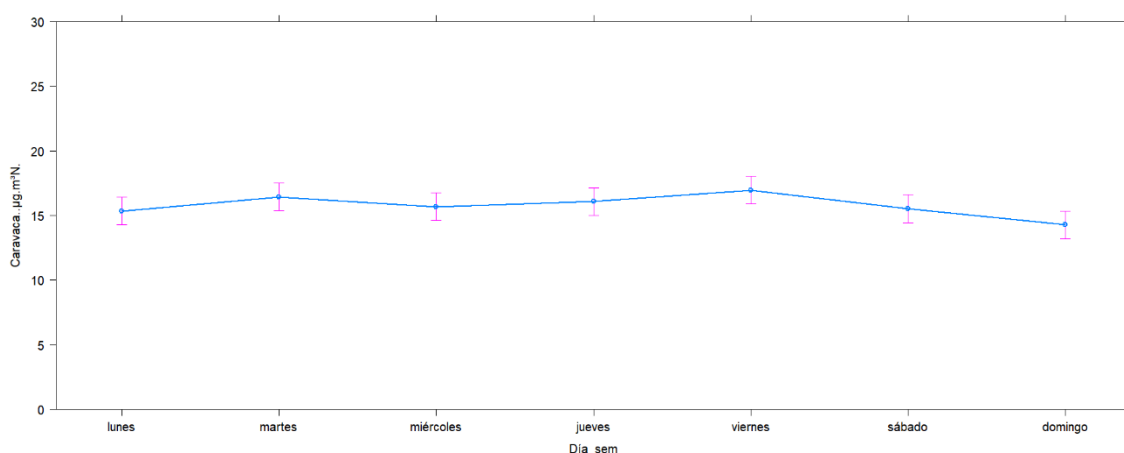


Fig. 169.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Caravaca desde 2010 hasta 2019 en función del día de la semana.

lunes martes miércoles jueves viernes sábado domingo
 "ab" "ab" "ab" "ab" "b" "ab" "a"

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Valor máximo	151.13	97.75	119.04	84.23	196.38	105.13	95
Media	15.35	16.45	15.68	16.08	16.96	15.52	14.27
Desviación típica	11.48	11.21	10.67	10.8	14.47	10.5	9.62
Valor mínimo	1.92	1.88	2.83	3.04	2.04	2.42	1.54
Nº datos	430	433	433	431	434	431	429
Nº superaciones	4	5	3	7	7	5	4
Límite superior	36.71	42.49	38.66	39.41	40.22	37.46	33.41
Q3	19.38	22.05	20.45	20.88	21.25	19.98	17.92
Mediana	13.21	13.9	13.04	13.75	14.25	13.17	12.31
Q1	7.83	8.42	8.31	8.53	8.61	8.33	7.59
Límite inferior	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)
Nº datos atípicos	16	10	16	13	13	15	16

Fig. 170.- Resúmenes numéricos de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Caravaca desde 2010 a 2019 en función del día de la semana. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

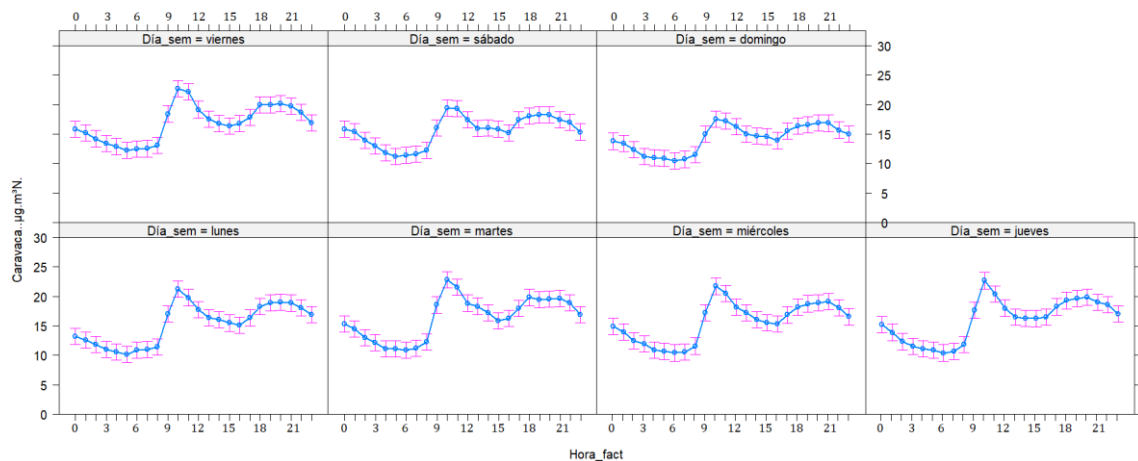


Fig. 171.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Caravaca desde 2010 hasta 2019 en función del día de la semana y la hora del día.

Mes del año

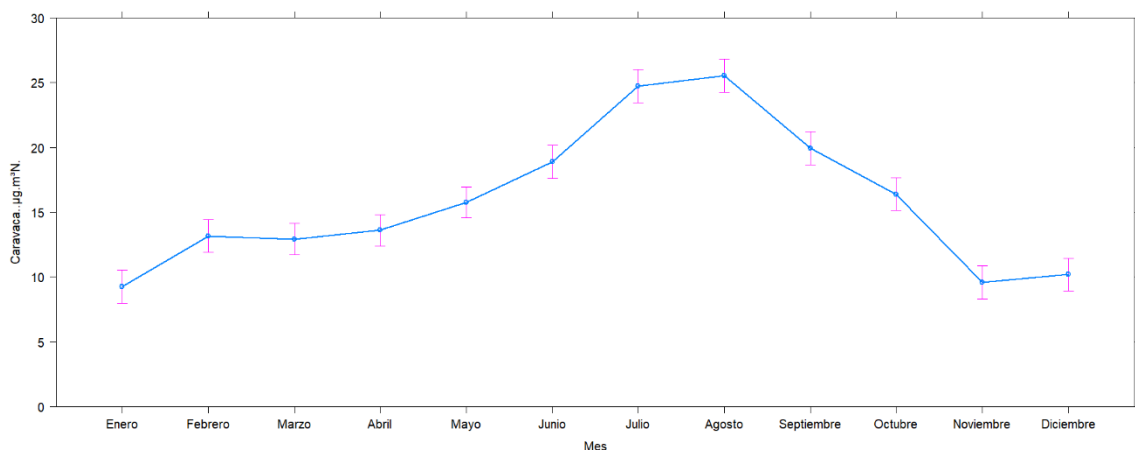


Fig. 172.- Concentración media del material particulado PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ medido en la estación de Caravaca desde 2010 hasta 2019 en función del mes del año.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Valor máximo	28.88	151.13	105.13	52.96	75.79	106.38	70.13	94.29	55.25	196.38	43.92	45.67
Media	9.25	13.16	12.93	13.62	15.76	18.89	24.73	25.55	19.95	16.4	9.58	10.19
Desviación típica	4.49	13.96	10.38	8.54	7.99	9.98	9.04	12.25	9.27	16.64	6.37	5.98
Valor mínimo	2.42	2.54	1.88	1.54	3.71	5.63	7.63	6.67	3.96	3.04	2.5	1.92
Nº datos	242	254	277	270	279	242	244	240	239	248	238	248
Nº superaciones	0	5	4	1	1	2	4	10	3	5	0	0
Límite superior	19.43	25.13	29.37	31.67	32.26	34.55	44.88	48.51	41.14	35.23	21.72	20.59
Q3	11.42	14.32	16.08	17.01	19.23	21.87	29.13	29.88	24.47	19.42	11.92	11.96
Mediana	8.21	10.04	10.83	11.73	14.5	17.25	23.13	22.92	18.13	13.42	7.71	9.08
Q1	6.08	7.1	7.22	7.23	10.54	13.42	18.63	17.46	13.36	8.88	5.38	6.21
Límite inferior	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	0.74	2.88	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)	(<0)
Nº datos atípicos	8	17	11	13	8	5	6	13	8	8	10	11

Fig. 173.- Resúmenes numéricos mensuales de los niveles de concentración de PM10 para los valores medidos en la estación de medición de Caravaca desde 2010 a 2019 en función del mes del año. Salvo el número de datos, de superaciones y datos atípicos, todas las demás magnitudes de encuentran en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

ANEXO II: ANÁLISIS MEDIANTE SERIES TEMPORALES

Este apartado no está incluido en los objetivos del proyecto, y se menciona de una forma anecdótica, ya que no se han conseguido los resultados deseados. Se explica el método, los criterios utilizados y se justifica mediante los oportunos indicadores estadísticos por qué no se pueden obtener resultados concluyentes, en base a la naturaleza de los datos.

El método se va a basar en dos vertientes. La primera se basa en el uso de series temporales para predecir a partir de datos sin intrusión, el valor que se obtendría en un día con intrusión como una forma de aproximar mediante la diferencia de ambas, la contribución de PM10 debido a episodio de intrusión de polvo africano. La segunda vertiente sería aplicar a partir de datos conocidos, series temporales que permitan predecir valores futuros desconocidos.

Se va a utilizar series temporales clásicas por el comportamiento de los datos. Al haber estacionalidad, la mayoría de los métodos de alisado exponencial no trabajan bien, y aquellos que sí admiten cierta estacionalidad (como los métodos de Holt-Winters) solo admiten comportamientos de la tendencia muy simples (no es el caso).

Estimación de las medidas de PM10 sin contribución de PM10 africano

La idea del método es, a partir de un conjunto de datos N conocido, donde cada uno de los valores de N corresponda a una media diaria en un día del año sin episodio de intrusión de polvo africano, poder predecir qué valor se mediría en un día con intrusión de PM10 africano. Así, si el modelo se adaptase bien al comportamiento de los datos, cabría esperar que el valor medido es notablemente más alto que el valor estimado por el modelo, y a partir de la diferencia de los dos valores, estimar el PM10 debido a la intrusión de polvo africano. Por exigencias del método, los valores de N deben ser contiguos: es decir, datos seguidos (PM10 día 1, PM10 día 2, PM10 día 3..., sin haber saltos).

El primer inconveniente que se presenta es que no se tiene un banco de datos sin episodios de intrusión de PM10 africano contiguo suficientemente grande como para estudiar la estacionalidad entre años sin influencia del PM10 africano. Lo ideal sería tener una fuente de datos de un proceso muy preciso que haya separado la contribución de PM10 (como, por ejemplo, por especiación química) para preparar el modelo y comprobar resultados. Podría pensarse en utilizar los datos obtenidos del método Perc40 15/30, sin embargo, sólo hay valores de datos de 2 años (2018 y 2019), lo cual es insuficiente para estudiar el comportamiento de PM10 sin intrusión africana a lo largo de los años y reservar una parte de los datos exclusiva para la comprobación de la bondad.

Por ello, se va a probar el método dentro de un conjunto de datos muy pequeño (del orden de 28 días), ya que sí es medianamente factible encontrar un conjunto de ese tamaño sin episodios de intrusión de polvo africano, e intentar ver cómo predice los siguientes datos: 29, 30, 31... Se tomarán dos conjuntos de datos: del 1 de enero a 28 de enero de Mompean 2018 (serie 1) para predecir el 29, 30, 31 de enero (días con intrusiones); y del 31 de enero de 2018 al 27 de febrero de 2018 (serie 2) para predecir el 28 de febrero, el 1 y el 2 de marzo. Para este último conjunto, los valores del 31 de enero y 1 de febrero serán los correspondientes al PM10 con descuento por el método P40 15/30.

Se va a considerar una periodicidad semanal (lo óptimo sería poder considerar también una periodicidad anual, pero como se ha mencionado anteriormente, no se disponen de suficientes datos). La justificación de la periodicidad semanal se encuentra explicada en el subapartado 4.2.3.

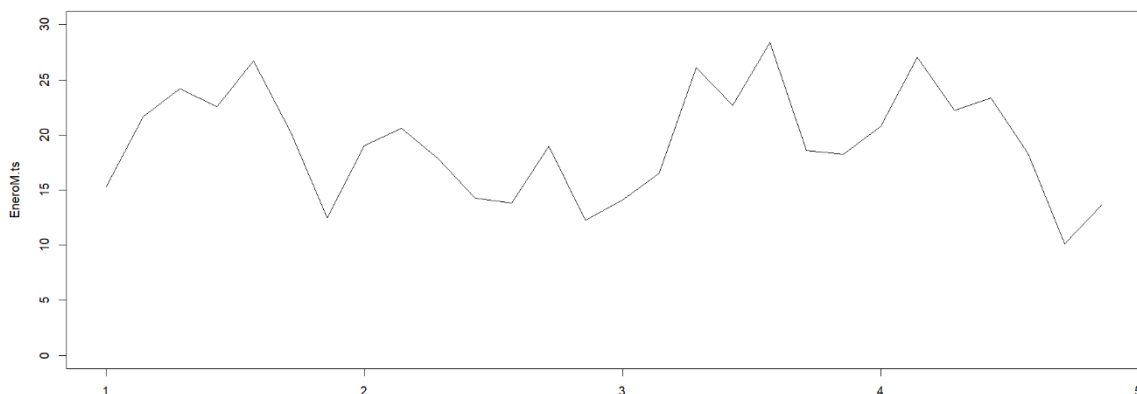


Fig. 174.- Valores de PM10 (en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) medidos en Mompean a partir del 1 de enero de 2018 (serie 1) hasta el 28 de enero del mismo año en función de la semana (eje horizontal).

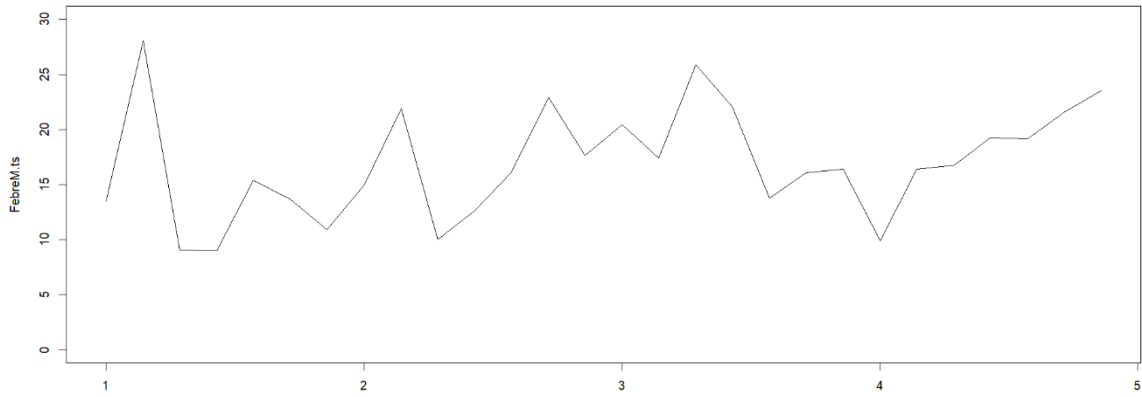


Fig. 175.- Valores de PM10 (en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) medidos en Mompean a partir del 31 de enero de 2018 (serie 2) hasta el 27 de febrero del mismo año en función de la semana (eje horizontal).

Estudiando el comportamiento de la desviación típica semanal frente al valor medio semanal, no se aprecia ningún patrón, por lo tanto, se opta por un modelo de serie temporal de tipo aditivo, siguiendo el modelo:

$$X = T + E + I$$

Siendo X nuestro valor medido de PM10, T la tendencia de la serie, E la componente estacional (periódica, comportamiento semanal) e I la componente irregular (errores).

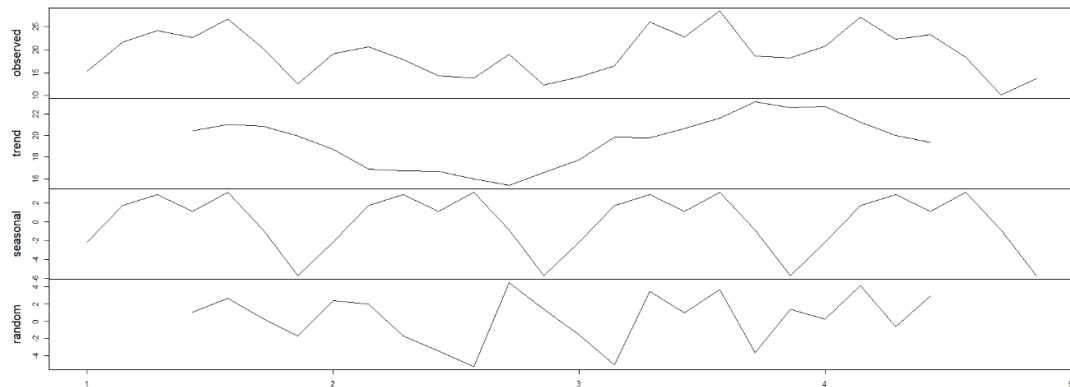


Fig. 176.- Descomposición de los valores de la serie 1. De arriba abajo: valores medidos, tendencia, estacionalidad y componente irregular. Medidas en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (ejes verticales) y semanas (eje horizontal).

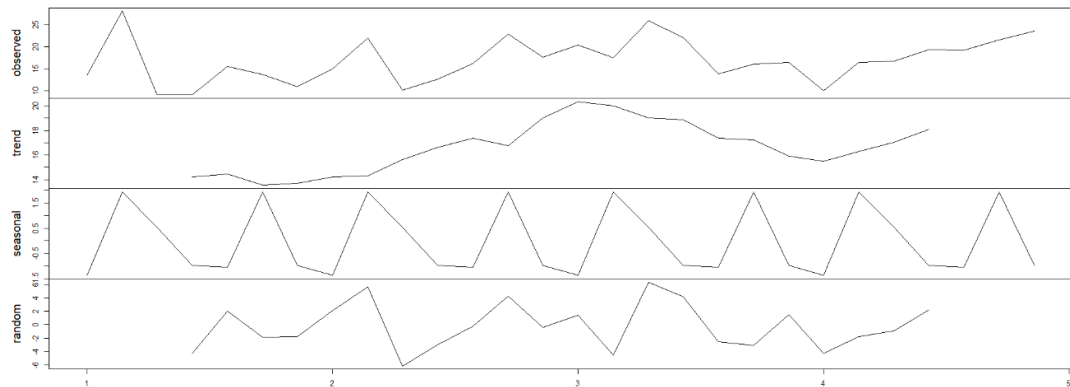


Fig. 177.- Descomposición de los valores de la serie 2. De arriba abajo: valores medidos, tendencia, estacionalidad y componente irregular. Medidas en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (ejes verticales) y semanas (eje horizontal).

En ambas gráficas se puede apreciar que aplicando este modelo temporal no va a trabar bien. En primer lugar, las tendencias no tienen un comportamiento claro y presentan vaivenes creciente-decrecientes, lo cual puede ser síntoma de existencia de otras estacionalidades (con otros periodos), un mal rango de datos o simplemente la naturaleza de los datos. En segundo lugar, la componente estacional de enero no se parece para nada a la componente estacional de febrero, habiéndose elegido el mismo periodo cíclico (7 días). En tercer lugar, la componente estacional de febrero es mucho menor que la componente irregular del mismo mes, es decir, que la estacionalidad no es tan significativa.

	Serie 1	Serie 2
$Sd_{Season1-28}$	2.970	1.367
$Sd_{Random4-25}$	2.913	3.473

Fig. 178.- Desviaciones típicas para las componentes estacionales e irregulares.

Numéricamente se puede observar que la desviación típica en febrero para la componente irregular es unas 2.5 veces mayor que la desviación típica para el mismo mes para la componente estacional. Por muy bien que se pueda modelizar la tendencia, el error de partida sería alto.

Para hacer predicciones futuras, es necesario modelizar la tendencia con una función teórica a raíz de su comportamiento. Lo ideal sería que fuese una función sencilla (función lineal, parabólica, exponencial, logarítmica...), pero no es el presente caso.

Como demostración, se presentan los resultados a partir de modelizar la tendencia a partir de dos tipos de funciones: una simple (lineal) y otra compleja (función lineal con una componente senoidal de amplitud variable).

Función lineal

Aplicando mínimos cuadrados se obtiene:

$$F_{Ene}(t) = 17.547 + 0.129 \cdot t$$

$$F_{Febr}(t) = 14.086 + 0.174 \cdot t$$

Siendo t el día. Los coeficientes de ajuste son $R_E^2 = 9.43\%$; $R_F^2 = 26.93\%$, enero y febrero respectivamente.

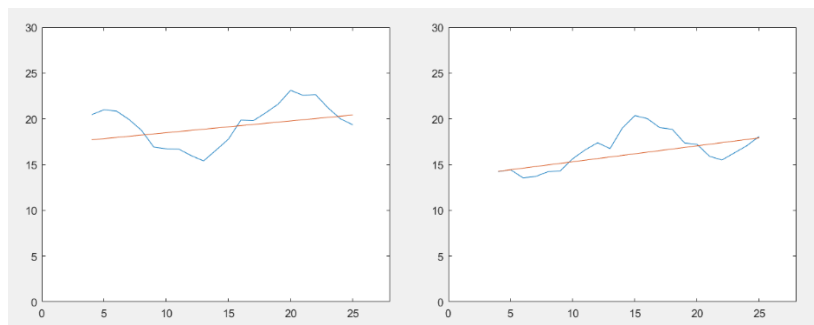


Fig. 179.- Modelización de la tendencia de la serie 1 (izquierda) y serie 2 (derecha) a partir de una función lineal.

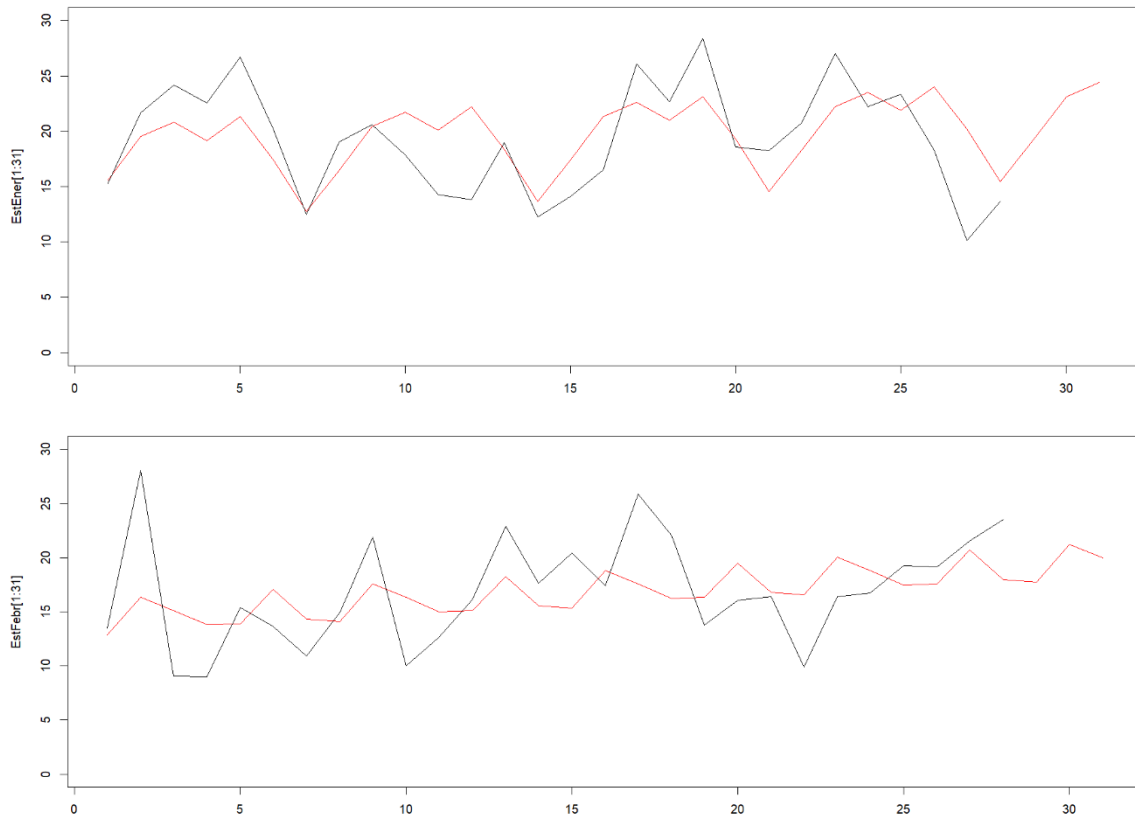


Fig. 180.- Datos observados (en negro) vs datos estimados a partir de un modelo con tendencia lineal (rojo). Serie 1 arriba, Serie 2 abajo. Eje vertical en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, eje horizontal en días.

Función lineal + senoidal de amplitud variable

Aplicando funciones de optimización en Matlab tras meter la función manualmente se obtiene:

$$F_{Ener}(t) = 17.904 + 0.0762 \cdot t + (2.797 + 0.0148 \cdot t) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{8.205} \cdot t\right)$$

$$F_{Febr}(t) = 20.354 - 0.1471 \cdot t + (0.409 \cdot t - 8.504) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{13.397} \cdot t\right)$$

Cuyos coeficientes de ajuste son $R_E^2 = 95.87\%$; $R_F^2 = 82.78\%$, enero y febrero respectivamente.

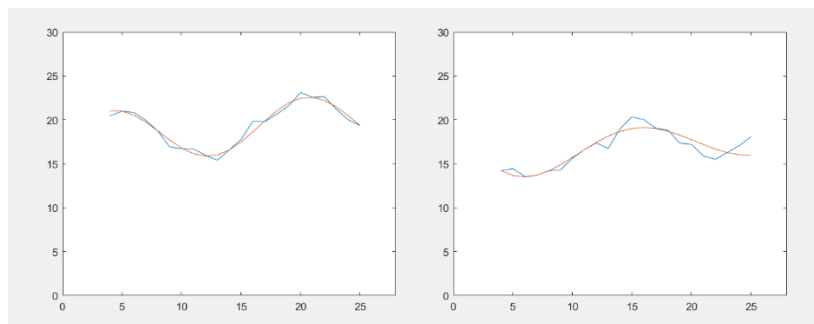


Fig. 181.- Modelización de la tendencia de la serie 1 (izquierda) y serie 2 (derecha) a partir de una función lineal + senoidal.

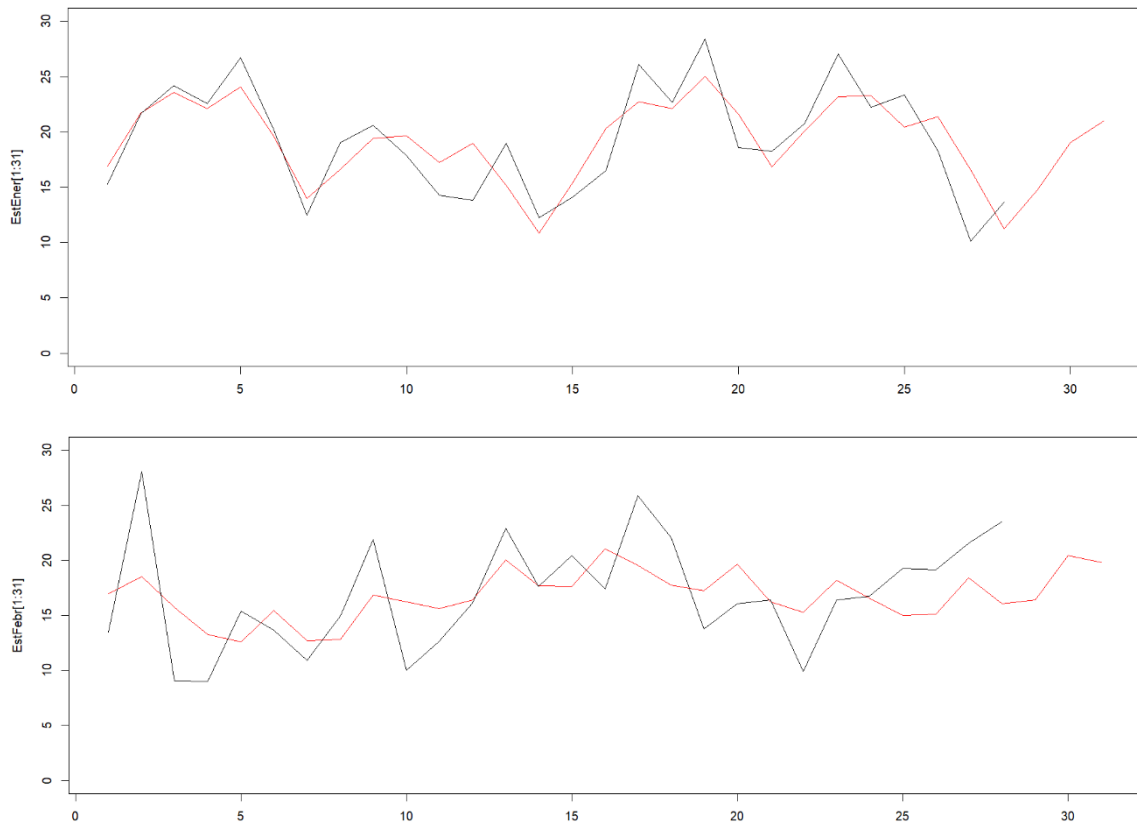


Fig. 182.- Datos observados (en negro) vs datos estimados a partir de un modelo lineal + senoidal (rojo). Serie 1 arriba, Serie 2 abajo. Eje vertical en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, eje horizontal en días.

Aunque utilizando el segundo modelo se obtienen valores aparentemente coherentes, cabe destacar el contraste del ajuste con la serie 1 y la serie 2: la primera imita perfectamente el comportamiento, la segunda no. El objetivo es buscar un método válido para toda la franja de datos. El problema también radica en lo sensible que es el método para modelizar la tendencia en función de los puntos iniciales para comenzar a estimar (debido a los numerosos mínimos relativos que se forman en una función de dicha índole). Por otro lado, se basa en una función lineal + senoidal, lo cual es problemático al poder ser un modelo “ad hoc”, tal y como demuestra la diferencia de ajuste con unos datos u otros.

Estimación de datos futuros a partir de series temporales

Aplicando el mismo procedimiento más compleja, pero con un banco de datos mayor, se propone intentar realizar un modelo que sea capaz de predecir valores futuros mediante series temporales clásicas. En este caso, no se busca aislar la contribución de PM10 africano o no, simplemente, ver si con un conjunto de valores de PM10 medido, se es capaz de predecir los siguientes valores.

Para ello, se han escogido los valores de PM10 de San Basilio, medidos durante los años 2014 a 2017 (ambos incluidos). Cabe decir que el conjunto de datos no es continuo, debido a valores ausentes, por lo tanto, estos se han estimado a partir de los valores promedio de los 3 años anteriores para el mismo día del año. El tramo comprendido entre el 17 de diciembre de 2016 hasta el 23 de febrero de 2017, no hay ningún dato medido (se han tenido que interpolar los 69 datos).

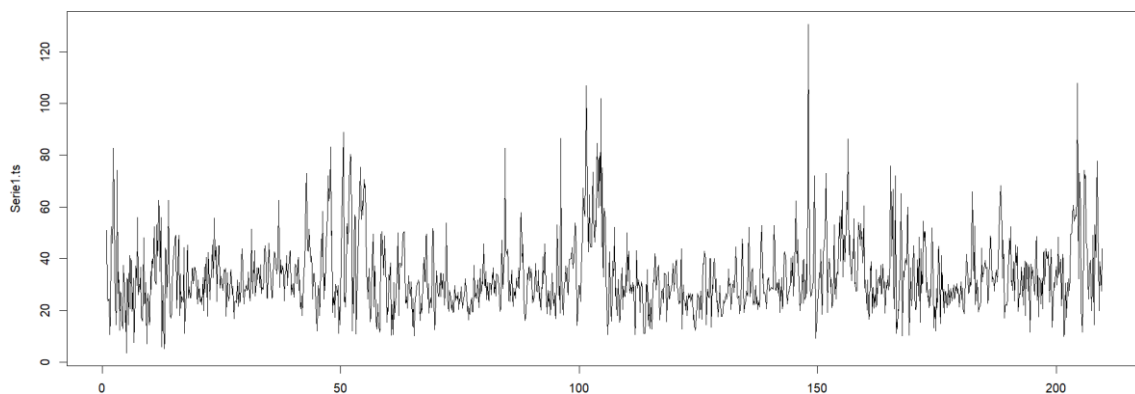


Fig. 183.- Valores de PM10 (en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) correspondientes a San Basilio desde el 1 de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2017 en función de la semana (eje horizontal).

Aplicando una serie temporal de tipo aditiva con periodo cíclico una semana y descomponiendo posteriormente, se obtiene Fig 184.

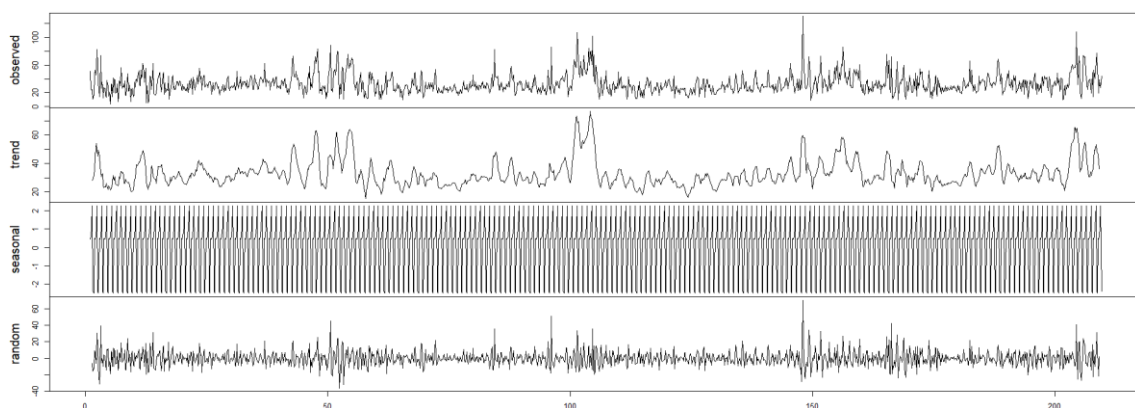


Fig. 184.- Descomposición de la serie temporal, considerando periodo cíclico una semana. De arriba abajo: valores medidos, tendencia, estacionalidad y componente irregular. Medidas en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (ejes verticales) y semanas (eje horizontal).

Una vez que se ha descompuesto la serie, se puede crear una segunda serie compuesta por la suma de la componente tendencia + la componente irregular. En este caso, se va a estudiar la estacionalidad anual.

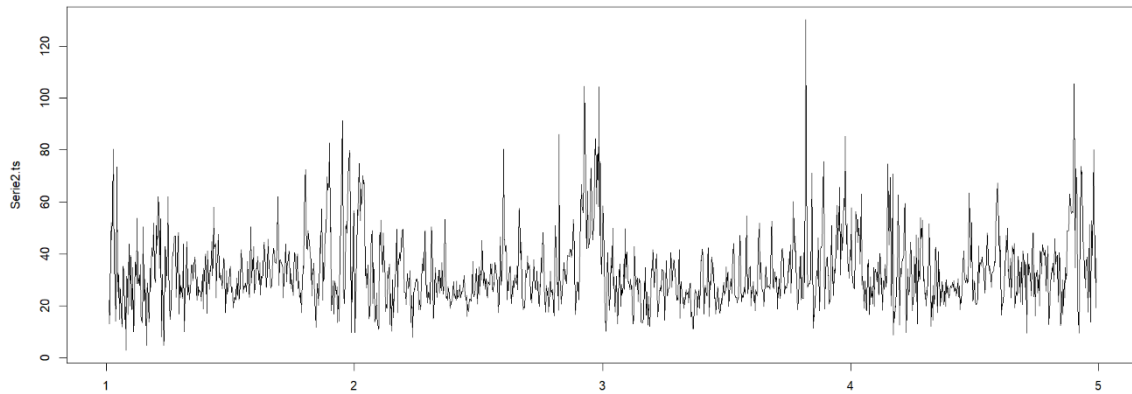


Fig. 185.- Valores de PM10 (en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) correspondientes a la suma de la tendencia + componente irregular de la serie anterior, en función del año (eje horizontal).

Volviendo a descomponer la serie se obtienen los resultados de la Fig 186.

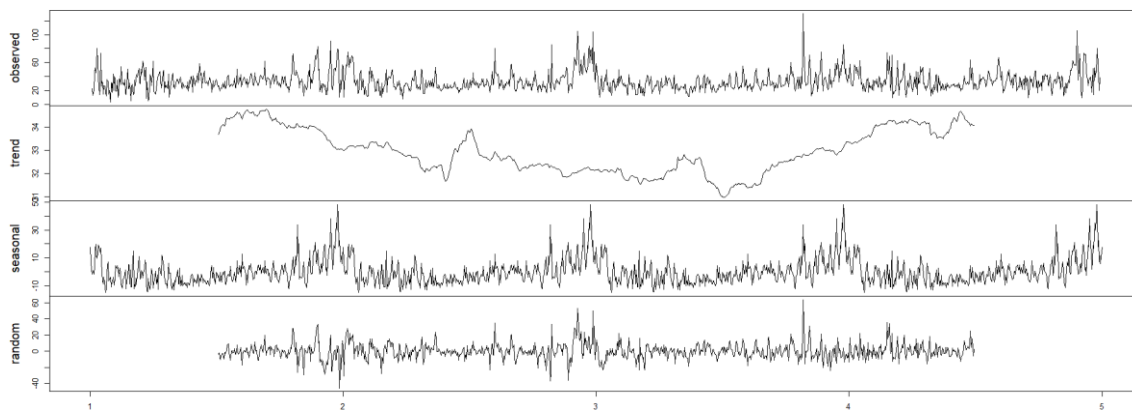


Fig. 186.- Descomposición de la serie temporal, considerando periodo cíclico un año. De arriba abajo: valores medidos, tendencia, estacionalidad y componente irregular. Medidas en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (ejes verticales) y año (eje horizontal).

Por un lado, el error ha disminuido (el acortamiento del rango de datos no tiene que ver, ello es debido a que el método se basa en medias móviles, con lo cual, no se pueden calcular los valores anteriores al primer semiperiodo o posteriores al último semiperiodo cíclico). El hecho de que la componente estacional tome valores muy altos justifica que efectivamente existe un claro componente periódico anual. Sin embargo, la tendencia sigue sin tener un comportamiento modelizable mediante una función simple, con lo cual, no se obtiene ningún modelo para calcular datos futuros. Seguir desestacionalizando en función de otros periodos cíclicos iría acortando gradualmente el rango de datos disponibles para la tendencia, con lo cual esta perdería calidad.

En la Fig 187, se muestra una representación gráfica de los 200 primeros valores diarios a partir del primer valor definido de tendencia en la segunda descomposición teniendo en cuenta la última tendencia y las dos estacionalidades, en comparación con los valores originales para el mismo rango de tiempo.

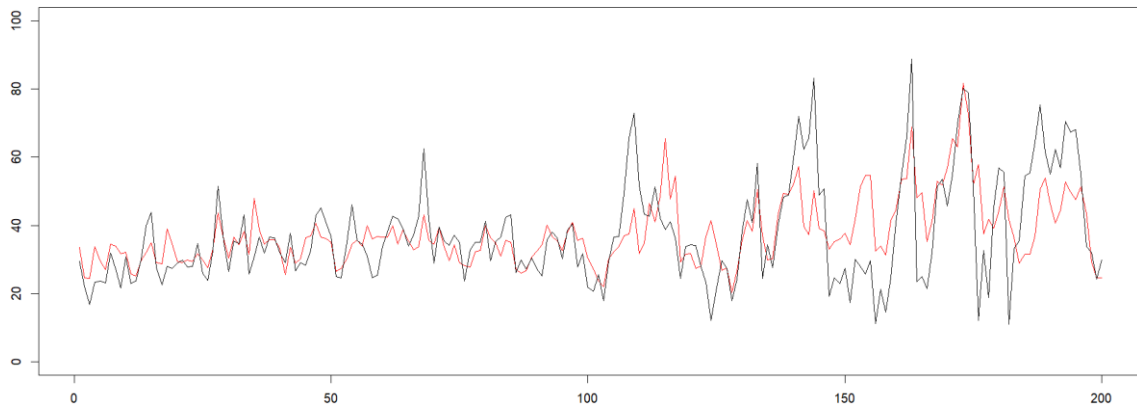


Fig. 187.- Comparación de los valores obtenidos tras el modelo tendencia + estacionalidad semanal + estacionalidad anual, respecto a los valores originales. Por motivos estéticos, sólo se han representado los 200 primeros datos a partir del primer valor de tendencia definido. Eje vertical en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, eje horizontal, días.

Al no tener que modelizar la tendencia, se puede utilizar la tendencia obtenida tras la segunda descomposición. En resumen, el modelo resultante es uno que tiene en cuenta la tendencia, la estacionalidad semanal y la estacionalidad anual. Esto puede ser muy útil para interpolar valores desconocidos (valores ausentes en las mediciones): en primer lugar, se hace una estimación de dichos valores a partir de valores razonables, se aplica el método y se obtienen otros valores a partir de la serie temporal. Como medida de bondad, se puede utilizar el coeficiente de regresión. En el presente caso, el coeficiente de ajuste es 47.02%, y se ha utilizado el modelo para estimar el tramo de valores comprendido entre el 17 de diciembre de 2016 hasta el 23 de febrero de 2017.

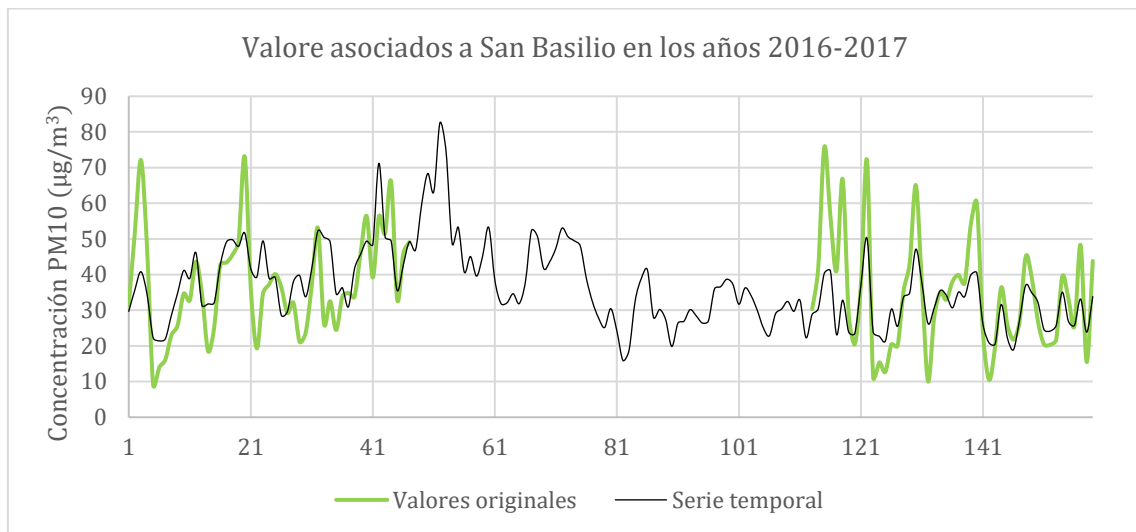


Fig. 188.- En verde, los valores originales, en negro, los valores según el modelo de serie temporal aplicado. Eje vertical, PM10 en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, rango de tiempo: desde el 1 de noviembre de 2016 (valor 1) hasta el 9 de abril de 2017.

A simple vista, el modelo imita el comportamiento de los picos de incremento de PM10, pero de una forma muy atenuada. Por otro lado, da la sensación de que los datos originales podrían tomar valores más altos que los de la serie temporal en las zonas donde hay datos ausentes.