



Análisis de los niveles de PM_{10} en las estaciones de fondo regional de la Comunidad Valenciana; aplicación metodológica para la obtención de la carga neta del polvo sahariano

Fabián Alejandro Santos Santos

Tutor: Nicolás Aguilera, Jose

Curso Académico: 2014-2015

Grado en Ciencias Ambientales
Facultad: Ciencias Experimentales
Departamento: Física y Arq. de Computadores
Área de Física Aplicada

ÍNDICE

1- INTRODUCCIÓN

1.1- Generalidades sobre la fracción másica PM_{10}	5
1.2- Efecto de las intrusiones saharianas sobre el PM_{10}	8
1.3- Metodologías utilizadas en la determinación del aporte africano en los niveles de PM_{10}	9
1.4- Caracterización del PM_{10} en las estaciones de fondo regional	12

2- OBJETIVOS

3- METODOLOGÍA

3.1- Criterio de selección de las estaciones de estudio	18
3.2- Procedimiento utilizado para la comparación de estaciones	19
3.3- Procedimiento utilizado en la determinación del aporte africano en los valores de PM_{10}	19
3.4- Procedimiento utilizado para determinar la influencia de la altura de la estación a la hora de determinar la contribución sahariana	21
3.5- Determinación de los períodos de intrusión	21

4- RESULTADOS

4.1- Comparación de estaciones: semejanza estadística	24
4.2- Caracterización de los valores de PM_{10} en las estaciones de fondo regional	27
4.3- Obtención diaria y anual de la carga de polvo africana	28
4.4- Influencia de la altitud de la estación en la obtención del aporte sahariano	31

4.5- Aplicación del resultado en estaciones de fondo urbano y de tráfico	32
5- CONCLUSIONES	36
6- PROYECCIÓN FUTURA	37
7- BIBLIOGRAFÍA	38



RESUMEN

Este trabajo analiza, mediante la utilización de la metodología conocida como la del percentil 40, el aporte másico que las intrusiones saharianas tienen sobre los valores de PM_{10} registrados en estaciones de fondo regional ubicadas en la C. Valenciana. Previo a este análisis, se ha realizado una comparativa de dichas estaciones para verificar su equivalencia, resultando que una mayoría de ellas pueden considerarse, desde un punto estadístico, semejantes. La contribución másica de estos eventos para el periodo de estudio (2008-2013) se establece en $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que supone un 17% del valor global de PM_{10} . Esta contribución puede variar según el año entre 1 y $3.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Es el periodo estival el más sensible a este tipo de episodios registrándose durante esta estación la mayor frecuencia de eventos. El estudio también ha constatado la importancia de la altitud de la estación regional escogida a la hora de cuantificar los aportes másicos de estas entradas de aire sahariano.

ABSTRACT

In this study, using the method known as “percentile 40”, the mass contribution that the Saharan episodes have on the PM_{10} value registered in the regional stations from the Valencian Region is analyzed. Before that, a comparison among these regional sampling locations determined that the data of the different stations were statistically similar. The mass contribution of these events from 2008 to 2013 has an average value of $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, representing 17% of the global value of PM_{10} . This contribution can change depending on the year, between 1 and $3.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The summer is the most sensitive season to these episodes. This study has also taken into account the altitude of the regional station because it is an important factor when you quantify the mass contribution of these Saharan outbreaks.

PALABRAS CLAVE

Estación de fondo regional, PM_{10} , episodios saharianos, percentil 40, descuentos másicos.

KEYWORDS

Regional background station, PM_{10} , Saharan episodes, percentile 40, mass discounts.

1.- INTRODUCCIÓN

1.1- Generalidades sobre la fracción másica PM_{10}

1.1.1-Definición, composición y fuentes

El material particulado atmosférico (PM) se define como un conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera (Mészáros, 1999).

En un abuso del lenguaje se suele considerar que las partículas constituyentes de la denominada fracción másica PM_{10} son aquellas partículas cuyo diámetro aerodinámico es inferior a $10\ \mu\text{m}$. No obstante, una definición más correcta sería: “el conjunto de partículas retenidas en un filtro tras pasar a través de un cabezal que seleccionará las partículas en función de su tamaño con una eficiencia de corte del 50% para un diámetro aerodinámico de $10\ \mu\text{m}$ ”. Esto implica que, si se muestrea con un equipo provisto de un cabezal de PM_{10} , el 50% de las partículas de $10\ \mu\text{m}$ que hay en una muestra de aire son captadas y retenidas en el filtro. De forma análoga se puede definir otras fracciones másicas como el $PM_{2.5}$ y el PM_1 .

El PM_{10} está compuesto principalmente de elementos y compuestos procedentes de la corteza terrestre (materia crustal) y del mar (aerosol marino), iones secundarios, carbono elemental y orgánico y elementos traza (principalmente metales). Es importante discriminar entre fuentes antrópicas de PM_{10} y de origen natural. Destacan de entre las primeras, las emisiones debidas al tráfico rodado y a los procesos industriales y energéticos; y entre las segundas, el polvo resuspendido del suelo, las emisiones volcánicas y el aerosol marino.

Tanto su composición química como sus principales fuentes emisoras varían en función del ambiente que se monitorice. De esta forma, en un entorno urbano con gran densidad vehicular, las fuentes antrópicas relacionadas con el tráfico serán predominantes y elementos relacionados con estas contribuirán en mayor medida al valor de PM_{10} de lo que lo harían si monitorizáramos otro tipo de ambiente.

1.1.2-Principales efectos

Introducción

El principal efecto que la exposición a elevadas concentraciones de PM_{10} puede causar sobre las personas está bastante localizado, ya que se centra principalmente en el aparato respiratorio. El efecto perjudicial puede ser debido a que la partícula:

- sea tóxica por sus características físico-químicas.
- actué como conductor de una sustancia tóxica adsorbida.
- interfiera con los mecanismos que despejan el aparato respiratorio.

No obstante, esta fracción másica de partículas, es menos dañina para la salud humana que las fracciones másicas más pequeñas como $PM_{2.5}$ y PM_1 (Schwartz and Neas, 2000), ya que al ser más grandes sedimentan con mayor rapidez, lo que provoca que la exposición a estas partículas por vía de inhalación sea menor; cuando estas partículas se inhalan son filtradas de forma efectiva por la nariz y la garganta, por lo que no suelen llegar a los pulmones. Por otra parte, los dispositivos de eliminación de estas partículas en las industrias emisoras son bastante eficientes. Por lo dicho anteriormente, las partículas en suspensión de PM_{10} , se depositan en las vías aéreas superiores (nariz), en la tráquea y en los bronquios, sin llegar a los alvéolos pulmonares como si lo hacen las partículas $PM_{2.5}$.

Para hacernos una idea de los tamaños que se mencionan, en la figura 1 se representa este tipo de partículas atmosféricas comparadas con las dimensiones de un cabello humano.



Figura 1. Comparativa de tamaño entre el PM y un cabello humano. (Fuente: EPA)

Destacar de entre otros efectos que ejercen este tipo de partículas: la pérdida de visibilidad, efectos sobre el clima (haciendo variar el forzamiento radiactivo), daños en materiales o tener una influencia negativa en la vegetación.

1.1.3 Legislación relativa al PM₁₀

Actualmente la Directiva que legisla los valores límite establecidos para la fracción PM₁₀ es la 2008/50/CE.

La Unión Europea ha obligado a los Estados miembros a adoptar las medidas necesarias para controlar que el valor de las partículas en suspensión de PM₁₀ en el ambiente no supere una concentración determinada. Las muestras tienen que ser analizadas según una metodología concreta, teniendo que ser los niveles inferiores a los indicados en dicha Directiva.

Esta Directiva consta de dos fases, siendo la primera fase la que está en vigor desde 2005. Una segunda fase, que debía tener como fecha límite de cumplimiento en 2010, se descartó considerándose demasiado estricta. La no puesta en práctica de la segunda fase se debe a que los valores límites de la fase dos no se ratificaron en el 2003, por lo que mantuvieron los valores de la primera fase y finalmente en la Directiva de 2008 se definió de forma definitiva el uso solo de la primera fase.

Tabla 1: Valores límite para las partículas PM₁₀. (Fuente: Directiva Europea)

	Período de Promedio	Valor Límite
Valor límite diario para la protección de la salud humana	24 horas	50 µg/m ³ que no se podrán superar en más de 35 ocasiones por año.
Valor límite anual para la protección de la salud humana	1 año civil	40 µg/m ³

Los límites legales establecidos para cada contaminante concreto se encuentran dentro de la Directiva, en el Anexo III. Como podemos observar de la tabla 1, en el caso del PM₁₀, el límite diario de 50 µg/m³ no se puede sobrepasar en más de 35 días al año, mientras que el valor anual límite se establece en 40 µg/m³.

Cabe reseñar que en el supuesto que se superen los valores límite de PM₁₀, debido a concentraciones en el aire ambiente producidas por fenómenos naturales, los Estados miembros informarán de ello y facilitarán la justificación necesaria para demostrar que dichos rebasamientos se deben a fenómenos naturales. Cuando se superen los valores límite establecidos la Directiva, los Estados miembros tendrán la obligación de ejecutar planes de actuación.

1.2- Efecto de las intrusiones saharianas sobre el PM₁₀

1.2.1-Caraterización de este fenómeno de transporte

Hay una serie de eventos naturales que alteran de manera considerable la concentración de PM₁₀ medida en las estaciones de control. Estos eventos en bastantes ocasiones son los causantes de que se produzcan superaciones de los límites establecidos por ley, y que según esa misma ley, si son debidos a causas naturales no se tienen que tener en consideración, por este motivo es muy importante saber cuáles son las posibles causas de esa superación del valor límite.

En España el principal factor ambiental de que se produzcan unas concentraciones de PM₁₀ superiores a los valores legales establecidos son las “intrusiones de masas de aire provenientes del norte de África” que suponen entorno al 90% de las superaciones por causas naturales (Querol et al., 2012).

El mecanismo de transporte de este tipo de evento se podría resumir de la siguiente forma: mediante procesos convectivos se inyecta a la atmósfera una gran cantidad de material particulado en zonas desérticas del norte de África debido a la escasez de precipitaciones y a las altas temperaturas que se alcanzan en la zona, especialmente en verano. Si a este hecho se le suman frecuentes inversiones térmicas nocturnas, el resultado final provoca que las partículas permanezcan en suspensión y no se depositen de nuevo en la superficie. El material particulado suspendido finalmente es transportado en altura (puede llegar hasta los 6 Km) por el viento a largas distancias en función de determinados patrones sinópticos de presión, llegando a Europa y al océano Atlántico principalmente.

En España, en concreto se diferencian dos períodos temporales de intrusiones de masas de aire africano con partículas en suspensión, el primero se sitúa a principio de primavera; estas intrusiones proceden principalmente del desierto del Sahel. Estas masas de aire con partículas durante este periodo se suelen desplazar hacia la zona del Atlántico y pueden llegar a la península y a Europa desde el océano. El segundo período es en verano, cuando el polvo africano proviene de la zona del desierto del Sahara; esta masa de aire con partículas en suspensión suele tomar una trayectoria hacia el norte, y a través del Mediterráneo llegan al sur o sureste de la península.

1.2.2-Efecto sobre las concentraciones de PM₁₀

Para ilustrar el efecto que suponen estas entradas de masas de aire africano se pueden observar las figuras 2a y 2b, obtenidas de Querol et al., 2012. La figura de la izquierda (2a) muestra los niveles medios anuales de PM_{10} obtenidos a partir de las estaciones de fondo regional de las distintas zonas geográficas. Se distingue en negro la contribución que estos eventos tienen sobre el valor de PM_{10} . En la figura de la derecha (2b) se muestra las cargas netas de PM_{10} debidas a las intrusiones en las distintas zonas geográficas a partir de medidas tomadas en estaciones de fondo regional. Se observa claramente una mayor concentración (en $\mu g/m^3$) en la zona del sur de la península y sobre todo en las Islas Canarias.

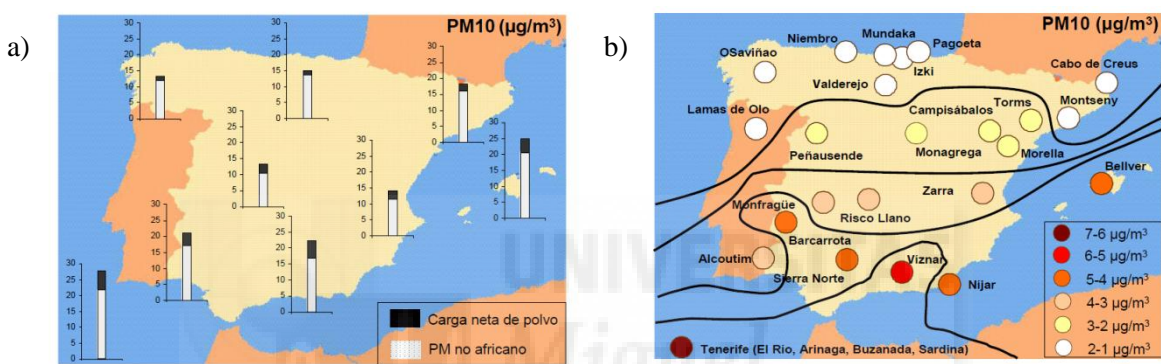


Figura 2: a) Niveles medios anuales de PM_{10} y contribución africana; b) Cargas netas de PM_{10} en estaciones de fondo regional debidas a las intrusiones.

Cabe señalar que otros tipos de transporte, en menor medida también pueden afectar a la concentración de PM_{10} . Destacar los de episodios de regionales de recirculación y los transportes de material particulado provenientes de Europa, generalmente con gran carga de sulfatos.

1.3- Metodologías utilizadas en la determinación del aporte africano en los niveles de PM_{10}

1.3.1-Constatación de la existencia de transporte desde el norte de África

El método generalmente utilizado para saber si una determinada zona está bajo la influencia de una intrusión de polvo sahariano es el de la comprobación del ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$, combinado con imágenes de satélite y el análisis de retro trayectorias de las masas de aire. Este método se basa en la premisa de que generalmente las emisiones antrópicas suelen emitir partículas con una diámetro menor a 2.5 μm mientras que las

fuentes naturales, como las intrusiones de polvo africano presentan un tamaño superior a éste. De esta forma, se debe detectar que la proporción de $PM_{2.5}$ en PM_{10} debe disminuir durante los eventos saharianos. La relación típica en España es: $PM_{2.5}/PM_{10} = 0.6$. Por lo que durante un evento de intrusión el ratio debe disminuir a valores por debajo de 0.6. Este hecho no implica que durante las intrusiones no se transporte $PM_{2.5}$, simplemente que lo hace en menor medida que el PM_{10} .

1.3.2-Métodos para determinar el aporte norteafricano

A continuación se resumen las metodologías básicas de algunos procedimientos utilizados a la hora de determinar la carga másica aportada por la intrusión sahariana.

1.3.2.1-El método químico

Este método consiste en llevar a cabo un balance químico a partir de las muestras obtenidas de las estaciones de la calidad del aire. Al saber que la composición química del PM_{10} sahariano está formada predominantemente por cuarzo, calcita, y minerales de arcilla, Ca, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K, Mg, SiO_2 , y CO_3^{-2} , podemos determinar la carga mineral aportada por la intrusión sahariana y posteriormente esta carga se extrae de la concentración de PM_{10} para así ver su contribución y si gracias a esta se excede o no el límite establecido (Grupo de trabajo de la Comisión Europea sobre partículas atmosféricas en suspensión. Documento final, 13 de Marzo de 2001).

1.3.2.2-Discriminación de fuentes utilizando métodos estadísticos multivariantes

Dentro de la búsqueda de las posibles fuentes emisoras (como podría ser la fuente de polvo procedente del Sahara) del material particulado atmosférico, es habitual recurrir a técnicas estadísticas de análisis multivariante.

La principal premisa de las mismas es el poder sintetizar la información obtenida de un número elevado de variables (elementos analizados de cada muestra), con el menor número de componentes o nuevas variables posibles. Estas nuevas variables, en nuestro caso particular, serán identificadas con las posibles fuentes emisoras de partículas. Es de prever que si una de las fuentes obtenida es la debida a los procesos de transporte del material particulado desde el desierto del Sahara, esta sea identificada. El proceso de identificación se llevará a cabo gracias a que conocemos la composición química de este tipo de partículas. Posteriormente a este proceso, se realiza un análisis de regresión

multilineal el cual nos proporcionará que contribuciones másicas tienen cada una de las fuentes de partículas identificadas y con este resultado sabremos si una superación del valor límite es debida a la fuente sahariana o no. Un ejemplo de esta metodología puede verse en Nicolás et al., 2008.

1.3.2.3-El método del Percentil 40

Este método cuenta con una ventaja respecto a los dos métodos anteriores, y es que no necesita el análisis químico de las muestras de PM_{10} , únicamente necesita su concentración diaria. Además, va a ser el método con el que se va a obtener, en este trabajo, las contribuciones másicas sobre el PM_{10} debidas a los aportes saharianos.

El desarrollo de esta metodología puede verse en Escudero et al., 2007. Inicialmente consiste en identificar los máximos de PM_{10} registrados durante periodos de intrusión en las series temporales de datos registradas en estaciones de fondo regional. A estos picos se les deben descontar los niveles de PM_{10} aportados por el fondo regional de la zona. Para obtener el aporte de ese fondo, se procederá a generar otra serie temporal diaria calculando para ello el percentil 30 (P30) medio mensual móvil para cada día de medida. Para ello se considerará el día en evaluación como día central del periodo mensual de 30 días. La elección de este tipo de estaciones (fondo regional) es imprescindible, para evitar la interferencia en los resultados de factores antrópicos.

Posteriormente, otro estudio (Pey et al., 2008) observó que el percentil 40 (P40) reproduce bastante mejor que el P30 los niveles de fondo ya que se comprobó que el P40 reproducía todos los procesos advectivos excluyendo los africanos, y que el P30 solo reproducía los procesos de advección atlánticos, por lo que podía sobrestimar la carga neta aportada por la intrusión. Una vez acabado este proceso se puede evaluar si una estación, ya sea urbana, de tráfico o industrial, que haya superado el límite diario, lo ha hecho debido al aporte de la intrusión.

La utilización de esta metodología también se puede observar en Querol et al., 2009. Un ejemplo de aplicación de este procedimiento se muestra en el apartado de la metodología 3.3.

1.4- Caracterización del PM_{10} en las estaciones de fondo regional

Como ya se ha señalado en el apartado anterior, las estaciones de fondo regional (o rural) son de vital importancia a la hora de aplicar ciertas metodologías de cuantificación del aporte de polvo norteafricano sobre los niveles de partículas registrados en una determinada área. Por ello, vamos a caracterizar brevemente este tipo de estaciones.

1.4.1-Definición y utilidades de las estaciones de fondo regional

Una estación de fondo regional es una estación de medida de concentraciones de contaminantes atmosféricos. Algunas de ellas también están equipadas con equipos para medir variables atmosféricas tales como temperatura, humedad y velocidad del viento. Estas estaciones se caracterizan por situarse en unas zonas alejadas de cualquier foco de emisión antropogénico, con el objetivo de obtener medidas de fondo.

Además de las estaciones de fondo regional, hay otros tipos de estaciones requeridas para la obtención de datos relativos a la contaminación atmosférica, que caracterizan diferentes tipos de ambientes, algunas de ellas son: las estaciones urbanas, las estaciones de tráfico y las estaciones industriales. En todas ellas, podemos presuponer que existe un fondo no relacionado con las diversas actividades antropogénicas.

Precisamente una de las utilidades que puede tener este tipo de estaciones es la de obtener los valores base (fondo) a partir de los cuales se puede determinar que contribución es la realizada por la actividad antrópica cuando se muestrean en entornos urbanos. Un ejemplo puede verse en la figura 3 (Querol et al., 2012), donde se puede observar como sobre los registros de $PM_{10} = 40 \mu g/m^3$, un 20% ($8 \mu g/m^3$) del mismo no es debido a fuentes antropogénicas.

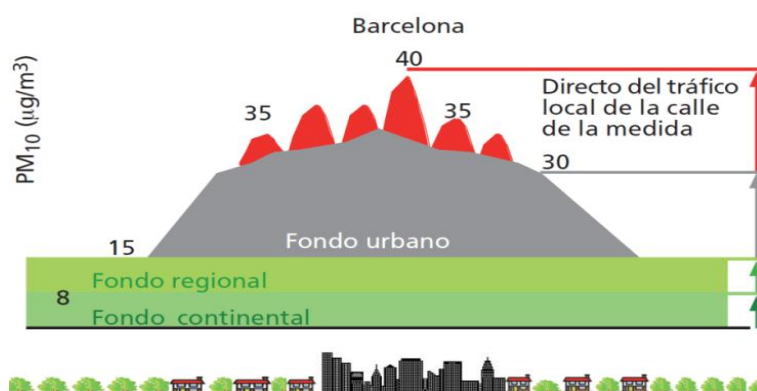


Figura 3: Distintas contribuciones a los valores de PM_{10} , registrados en la ciudad de Barcelona.

Otra utilidad que tienen las estaciones de fondo regional es, como se ha citado anteriormente, la de ser el tipo de estaciones ideales a la hora de estimar cual es la cantidad neta de PM_{10} que es debida a las intrusiones de masas de aire provenientes de África, pues en este tipo de estaciones la interferencia de otras fuentes de partículas es mucho menor.

1.4.2- PM_{10} : niveles y tendencias según ambiente muestreado

La mayoría de las estaciones para medir el PM_{10} en España se localizan principalmente en emplazamientos de tráfico e industriales constituyendo éstas entorno al 60-70% del total, aunque progresivamente el número de estaciones de fondo va en aumento. La figura 4 (Querol et al., 2012), presenta las *concentraciones* de la fracción másica de PM_{10} en función del tipo de estación.

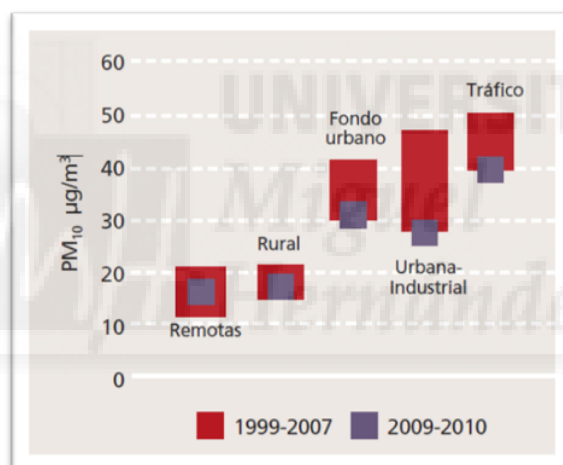


Figura 4: Valores de PM_{10} en función del ambiente muestreado.

Si observamos la figura 4 se puede apreciar como las concentraciones medias de PM_{10} en España han sufrido un descenso en los últimos años del estudio (2009-2010), y que los valores de concentración son, lógicamente, menores en las estaciones de fondo regional que en las industriales o de tráfico. Se observa como en estaciones rurales los niveles oscilan entre $12-20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en zonas industriales entre $25-35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y en zonas de tráfico intenso o *hotspots* entre $37-43 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

El descenso de niveles también se ha visto reflejado en el número de superaciones del valor límite, así durante 2007, el 20% del total de las estaciones de control de la calidad del aire superaron el valor anual de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Si únicamente se hace referencia a las

estaciones de tráfico e industriales los porcentajes aumentan al 26 y 43% respectivamente. En cambio, durante 2009 se redujo de nuevo llegando a valores de 2% las totales, 2% las de tráfico y 4% las industriales. Finalmente, en 2010 solo dos estaciones de zonas industriales superaron el promedio anual de PM_{10} puesto en la Directiva europea.

En lo referente a la *evolución estacional* del PM_{10} registrado en las estaciones de fondo regional podemos apreciar en la figura 5 (Viana, 2003) que los máximos de concentración de PM_{10} son más comunes en los meses de verano y se deben entre otras causas a las intrusiones de masas de aire provenientes de África, además de por el aumento de la suspensión (y escasez de lluvias) y el aumento del aerosol marino. También hay que mencionar que se produce otro pico en primavera, principalmente en Febrero- Marzo. Este pico suele ser de menor concentración y una duración más breve.

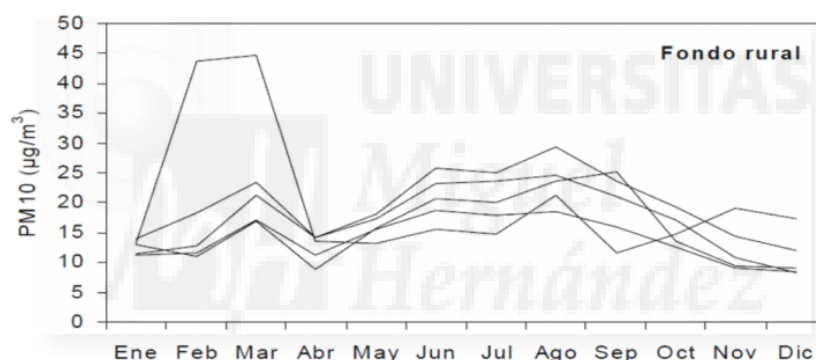


Figura 5: Tendencia estacional del PM_{10} en estaciones de fondo rural.

Al observar la figura 6 (Viana, 2003), que representa la evolución temporal de la concentración de PM_{10} en estaciones urbanas, se aprecian algunas notables diferencias respecto a las estaciones rurales debidas a los factores antrópicos.

La principal de ella es que durante la época de invierno se registran unas concentraciones de PM_{10} mucho más elevadas que en las estaciones de fondo regional, esto es debido principalmente a situaciones de estancamiento meteorológico (débiles gradientes de presiones, velocidades del viento muy bajas y disminución de la capa de mezcla) que propician la acumulación de los contaminantes emitidos en las ciudades, lo cual deriva en un incremento sustancial de sus concentraciones.

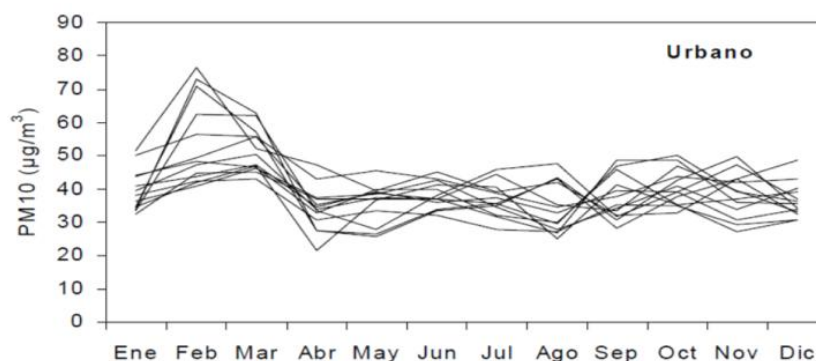


Figura 6: Tendencia estacional del PM₁₀ en estaciones de fondo urbano.

Otra diferencia importante es el mayor valor de concentración registrado, entorno a un 60% mayor que el obtenido en las estaciones rurales.

1.4.3-Clasificación de las estaciones de medida en la Comunidad Valenciana

La finalidad de la obtención de datos por parte de la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica tiene como objetivo conocer los niveles de los principales contaminantes de la forma más exacta posible, y realizar una evaluación válida de la calidad del aire en la Comunidad Valenciana. Esta red consta (año 2011) de un total de 61 estaciones, estando 24 en Castellón, 24 en Valencia, y 13 en Alicante. No obstante, solo 42 de ellas estaban operativas.

La Red de la Comunidad Valenciana cuenta además con tres estaciones móviles que se distribuyen por 10 emplazamientos de manera periódica a lo largo del año. La ubicación exacta de las estaciones se puede ver en la figura 7.

La clasificación de los tipos de emplazamientos de las estaciones de control están establecidos en la Decisión del Consejo 97/101/CEE para el intercambio de información. La clasificación ordena las estaciones según tres niveles o criterios: El nivel 1 se caracteriza según el grado de urbanización del entorno próximo, ordenándolos en urbano, suburbano y zona rural.



Figura 7: Mapa de estaciones de la Comunidad Valenciana.

El nivel 2, las clasifica según el origen de las concentraciones, nombrándolas de tráfico, industrial y de fondo. Por último, el nivel 3 las clasifica según la posición relativa de los emplazamientos dentro de un escenario típico, identificable en las cuencas aéreas del entorno Mediterráneo; dando lugar al siguiente orden: AI, altura en el interior; VI, fondo de valle en el interior; ME, media elevación en distancias intermedias entre la costa y el interior; AC, costa en altura; y C, costa a nivel del mar. En la figura 7 aparecen las estaciones de fondo (nivel 2) rurales (nivel 1) redondeadas con un círculo.

De esta forma a modo de ejemplo, la estación “Parc de Bombers” ubicada en Elche se caracterizaría en función de los niveles anteriormente expuestos como una estación Urbana (nivel 1), de tráfico (nivel 2) y de costa a nivel del mar (nivel 3).

2.- OBJETIVOS

El objetivo principal del trabajo consiste en obtener la carga diaria y anual neta de polvo africano registrada en las estaciones de fondo regional de la Comunidad Valenciana y determinar su influencia en la superación de los valores límite legislados de PM_{10} .

La consecución de este objetivo está basada en el estudio previo de la fracción PM_{10} registrada en estaciones que muestrean ambientes de fondo regional. Además de este objetivo, otros objetivos secundarios se llevarán a cabo:

- determinación de la evolución temporal de la carga de polvo sahariana en la Comunidad Valenciana.
- Análisis de la influencia de la altitud de la estación de fondo regional en la determinación del objetivo principal.



3.- METODOLOGÍA

En el trabajo se han realizado una serie de procesos consecutivos con el fin de alcanzar los objetivos previstos. Para ello, se aplicaron las técnicas y procedimientos que se describen a continuación.

3.1- Criterio de selección de las estaciones de estudio

Este estudio analiza datos de PM₁₀ registrados en las estaciones de fondo regional de la Comunidad Valenciana. Es decir aquellas estaciones cuya denominación en el nivel 1 de clasificación (ver apartado 1.4.3 de la introducción) es de “rural” (o regional) y en su nivel 2 es de “fondo”. Por otra parte, con la denominación del tercer nivel de clasificación se discriminó aquellas situadas en la costa de las situadas en el interior. Por todo ello, se realizó una revisión de este tipo de estaciones en la Comunidad Valenciana, para identificarlas y seleccionarlas.

El estudio sobre las estaciones seleccionadas comprendió los años 2010, 2011, 2012 y 2013. Las estaciones seleccionadas junto con sus coordenadas y altitud sobre el nivel del mar se muestran en la tabla 2.

Tabla 2: Estaciones de fondo rural ubicadas en la Comunidad Valenciana

Estación	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Coordenadas		Altitud (m)
				Longitud	Latitud	
Zorita	Rural	Fondo	VI	0° 10' 10" W	40° 44' 06" N	619
Sant Jordi	Rural	Fondo	C	0° 22' 22" E	40° 33' 17" N	175
T. Endomenech	Rural	Fondo	C	0° 04' 44" E	40° 16' 10" N	259
Cirat	Rural	Fondo	AI	0° 28' 06" W	40° 03' 15" N	466
Burriana	Rural	Fondo	C	0° 03' 54" W	39° 53' 32" N	37
Viver	Rural	Fondo	AI	0° 36' 12" W	39° 55' 50" N	616
Caudete	Rural	Fondo	ME	1° 16' 58" W	39° 33' 36" N	794
Alzira	Rural	Fondo	C	0° 27' 28" W	39° 09' 00" N	60
Ontinyent	Rural	Fondo	AI	0° 40' 58" W	38° 47' 43" N	510

VI: fondo de valle en el interior; C: costa a nivel del mar; AI: altura en el interior y ME: media elevación en distancias intermedias entre la costa y el interior.

No obstante, a partir de esta selección previa hemos reducido la lista de estaciones de análisis debido a que algunas no han tenido suficientes registros de valores de PM₁₀ como para que su estudio tuviera validez científica.

Así, las estaciones sin datos suficientes son las siguientes: T. Endomenech, Cirat y Ontinyent. Por lo que únicamente quedaron para el estudio seis estaciones, las cuales se han dividido en dos grupos, las de interior (Zorita, Viver y Caudete), y las que se sitúan en la costa (Alzira, Burriana y Sant Jordi).

Por otra parte, queremos hacer mención a la no inclusión en esta selección de tres estaciones que fueron utilizadas por Escudero et al., 2007, para validar su metodología (ver introducción) en la zona de estudio. Estas estaciones son: Zarra, Morella y El Pinós. Las razones de la no incorporación de las mismas en el análisis son diversas: a) falta de datos durante el periodo de estudio (Zarra); b) variación de su clasificación en el nivel 2, pasando de ser de fondo a industrial (Morella) y finalmente, c) la proximidad a una cantera que podría perturbar los resultados ya que este tipo de industrias son claras emisoras de partículas gruesas (El Pinós).

3.2- Procedimiento utilizado para la comparación de estaciones

Una vez seleccionadas las estaciones de análisis, se obtuvieron sobre los valores de PM_{10} una serie de estadísticos (máximos, mínimos, valores medios, coeficientes de correlación de Pearson...) y se realizaron test estadísticos, con el objetivo de analizar: la evolución temporal, los valores medios y las diferencias estadísticas entre estaciones, si las hubiese, tanto en la evolución temporal como en los valores de concentración de PM_{10} .

Así para la *comparación de medias* entre las diferentes estaciones escogidas se ha utilizado el test ANOVA; este test sirve para comparar varios grupos en una variable cuantitativa. Esta prueba es una generalización del contraste de igualdad de medias para 2 muestras independientes. Se aplica con las medias de cada estación para contrastar la igualdad en la muestra de medias de tres o más poblaciones independientes y con distribución normal. Otro test utilizado durante el proceso de comparación, es el test HSD Tukey; es un test estadístico se realiza con posterioridad al ANOVA, es un test post-hoc. Sirve para identificar que estación de control proporciona datos que alteran la media, en caso de que el resultado de ANOVA concluya que alguna de las medias difiera estadísticamente de las demás.

Por último, para determinar la *semejanza de tendencias temporales* en los valores de PM_{10} entre las distintas estaciones se ha utilizado como valor indicativo el coeficiente

de correlación de Pearson (Bardouki et al., 2003).

3.3- Procedimiento utilizado en la determinación del aporte africano en los valores de PM_{10}

Para determinar cuál es la contribución y el porcentaje de la concentración que aporta la intrusión africana al valor de PM_{10} anual y diario obtenido en estas estaciones se utilizó la ya mencionada metodología del Percentil 40.

Para realizar esta parte del estudio, como veremos más adelante en los resultados, se utilizaron los valores obtenidos en la estación de fondo regional de Caudete de las Fuentes. La elección de esta estación es debido a que era la estación de fondo regional que se encontraba a mayor altura en la Comunidad Valenciana, y la aplicación de este tipo de metodología requiere la utilización de estaciones con una cierta altitud, pues estas son más sensibles a las intrusiones saharianas. Además de ser la estación con las secuencias completas de datos.

Mencionar que tanto para este apartado como para el siguiente se extendió el período de estudio a seis años (2008-2013).

El procedimiento utilizado es explicado a continuación mediante un ejemplo gráfico (ver figura 8).

- Obtención de las medidas de concentración de PM_{10} diarias (línea morada) y selección de los días de intrusión. Estos días se pueden obtener a partir de la página web: <http://www.calima.es>. Los días bajo influencia sahariana en el ejemplo gráfico corresponden al período temporal aproximado entre el día 19 y el 23. La línea verde muestra los valores diarios de PM_{10} obtenidos en la estación sin considerar los periodos de intrusión.
- Posteriormente se obtiene el percentil 40 medio mensual móvil (línea roja) a partir de los datos diarios registrados (línea verde). Para ello se toma el día de evaluación concreto como día central del período mensual de 30 días.
- Finalmente, con los valores diarios registrados en la línea morada y la roja durante el periodo de intrusión, se puede obtener, por diferencia entre ambas, el

valor correspondiente a la contribución sahariana al PM_{10} durante esos días (línea azul).

De esta forma, se puede visualizar en la gráfica, de forma aproximada como durante el día 21 se registró un valor de PM_{10} de casi $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, de los cuales unos $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eran debidos al aporte sahariano.

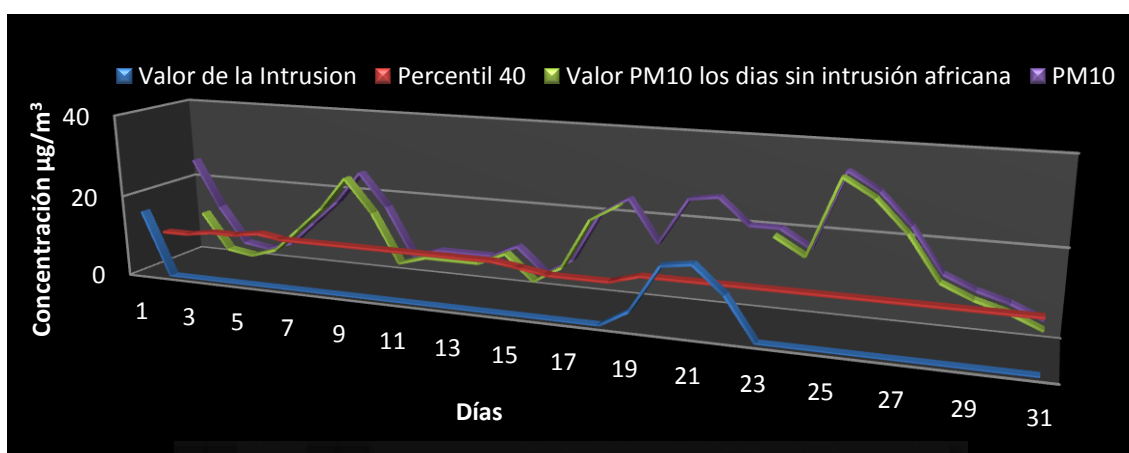


Figura 8: Representación de los parámetros utilizados en la determinación del aporte africano mediante el método del percentil 40.

3.4- Procedimiento utilizado para determinar la influencia de la altura de la estación a la hora de determinar la contribución sahariana

Para comprobar la influencia de la altura de la estación control a la hora de obtener la contribución másica sahariana en el valor de PM_{10} , se comparará los aportes registrados en dos estaciones que difieran ostensiblemente en su altura sobre el nivel del mar. Una es la ya nombrada Caudete de las Fuentes (794 msnm) y la otra es la estación de Sant Jordi (175 msnm). La diferencia de altura entre ambas es de más de 600 m, por lo que estimamos que es una distancia suficiente para comprobar si existe o no diferencia en los aportes norteafricanos.

3.5- Determinación de los períodos de intrusión

Los períodos temporales bajo los que la Comunidad Valenciana estuvo bajo la influencia de entradas de aire sahariano se han obtenido en la página web de Calima (www.calima.es). Esta página es el resultado de un proyecto promovido por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Agricultura,

Alimentación y Medio Ambiente.

En la figura 9 se puede observar un ejemplo de la información obtenida en dicha página para los meses de Marzo y Abril de 2013.

La información se presenta en función de la localización geográfica afectada. Además de los eventos de intrusión sahariana también se muestran otros tipos de episodios como la combustión de biomasa (incendios forestales), y episodios de transporte provenientes del continente europeo.

MARZO 2013

MARZO 2013									
	CANARIAS	SUROESTE	SURESTE	LEVANTE	CENTRO	NOROESTE	NORTE	NORESTE	BALEARES
COMBUSTIÓN BIOMASA									
EUROPEO / SMOG									
AFRICANOS		17	3-5 17 22	3-5					4-6

ABRIL 2013

ABRIL 2013									
	CANARIAS	SUROESTE	SURESTE	LEVANTE	CENTRO	NOROESTE	NORTE	NORESTE	BALEARES
COMBUSTIÓN BIOMASA									
EUROPEO / SMOG									
AFRICANOS	18-25	14-18 26	14-19 26-27	15-19 25-26	14-18 25-26			15-19 25-26	25-27

Figura 9: Información de eventos según área geográfica extraída de la página Web de Calima.

La obtención de estos períodos se realiza, como ya se indicó en la introducción en base al visionado de programas informáticos que simulan el transporte sinóptico del material particulado (programas ICOD, NAAPS o SKIRON), junto con imágenes por satélite. Además se utilizan retrotrayectorias que indican el origen de las masas de aire (programa HYSPLIT) Ejemplo gráficos de estas simulaciones y retrotrayectorias se pueden observar las figuras 10a y 10b.

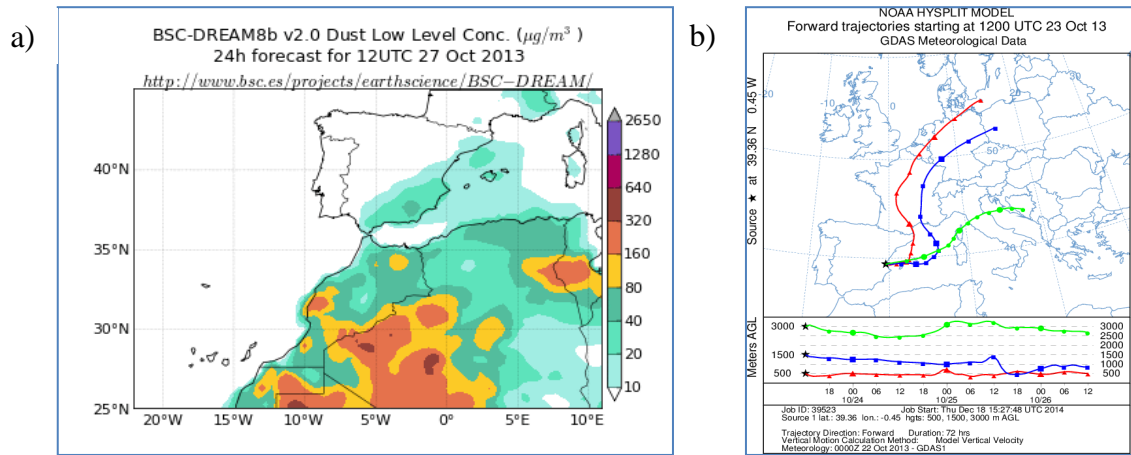


Figura 10: a) Imagen obtenida de la simulación ICOD-DREAM para el 27 de Octubre de 2013 que muestra la entrada de polvo sahariano en el sureste español. b) Retro trayectorias de masas de aire obtenidas para el día 23 de octubre de 2013 a las alturas de 500, 1500 y 2500 m.



4.- RESULTADOS

4.1- Comparación de estaciones: semejanza estadística.

A continuación se va a estudiar la semejanza estadística existente entre las concentraciones medias de PM₁₀ registradas en cada una de las estaciones de análisis. Las seis estaciones de estudio son las citadas en el apartado 3.3 de la metodología y sus respectivos valores estadísticos de concentración pueden verse en la tabla 3. Además, se ha analizado la posible diferencia entre aquellas que están ubicadas en el interior y las que están en la costa, con el fin de determinar, si es que existiese tal diferencia, cual es la razón de esta.

No obstante, del análisis preliminar de la selección de estaciones de estudio de fondo regional, cabe destacar dos resultados interesantes: a) no hay ninguna estación de fondo regional en la provincia de Alicante, todas se encuentran en las provincias de Valencia y Castellón, y b) las estaciones encargadas de caracterizar los ambientes de fondo regional en la Comunidad Valenciana suponen únicamente alrededor del 20% del total de estaciones de control.

Los valores presentados en la tabla 3 han sido obtenidos a partir de valores diarios de PM₁₀, sobre un período total de 48 meses entre 2010 y 2013.

Tabla 3: Estadísticos descriptivos de PM₁₀ registrados en las estaciones de estudio seleccionadas.

	N (nº de meses)	Mínimo (µg/m ³)	Máximo (µg/m ³)	Media y error (µg/m ³)	D. estándar (µg/m ³)
Viver	36	5.6	32.5	15.4± 1.0	6.6
Caudete	48	4.8	33.7	15.4±0.9	6.2
Zorita	48	4.5	39.5	15.5±1.0	7.2
Sant Jordi	47	6.3	22.1	14.5±0.6	4.2
Burriana	36	7.2	32.4	16.5±1.0	6.5
Alzira	35	8.8	34.6	19.2±1.0	5.7

En la primera columna se muestran el número de meses completos de los cuales se tenía registros de concentración para cada una de las estaciones. En las dos siguientes columnas se muestran los valores máximos y mínimos mensuales registrados durante el período de estudio. Por su parte, la columna del valor medio obtenido durante los 4 años de registros muestra que cinco de las seis estaciones de control seleccionadas presentan una concentración de PM₁₀ promedio bastante próxima entre sí. De hecho, se

encuentran todas ellas con una concentración en torno a $15.5 \pm 1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$; sin embargo, la estación de Alzira muestra una media que es ostensiblemente superior al resto de estaciones de control. Esto podría ser debido a la falta de registros en esta estación en el año 2011, el cual como veremos posteriormente fue un año con una concentración de PM_{10} ligeramente inferior a la media.

4.1.1- Semejanza estadística de los valores promedio

Para determinar si los valores medios de PM_{10} que se han obtenido entre las estaciones son estadísticamente iguales, se ha realizado un test ANOVA. Previamente, y para poder aplicar dicho test, se ha determinado por un lado la normalidad de los datos utilizando para ello una gráfica Q-Q obtenida mediante la utilización de programa SPSS, cuyo resultado si verifica la normalidad de estos. Por otro lado, se ha estudiado la igualdad de las varianzas y para ello se utiliza una prueba de homogeneidad de las mismas (estadístico de Levene) cuyo resultado confirma que sí lo son. Con ello se ha aplicado el test ANOVA, cuyo resultado puede verse en la tabla 4.

Tabla 4: Resultados del test ANOVA.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Entre grupos	513.412	5	102.682	2.742	0.020
Dentro de grupos	9138.731	244	37.454		
Total	9652.144	249			

El resultado del test muestra que hay una estación (o más de una) cuya concentración promedio de PM_{10} difiere del resto, pues como se observa en la tabla 4 el valor de la significancia obtenida, 0.02 es inferior a 0.05 (nivel de confianza) y por lo tanto se debe rechazar la hipótesis de que en todos los grupos (estaciones) las medias son iguales.

Con el objetivo de ver que estación o estaciones difieren en la media del resto se realiza otro test, el test estadístico de Tukey. Si se observa el resultado de aplicar dicho test (tabla 5) se puede comprobar en que estación/es la diferencia de media/s es significativa. De esta forma, la tabla 5 muestra como la estación de Alzira presenta una media que es diferente estadísticamente hablando a la registrada en la estación de Sant Jordi (nivel de significancia de la diferencia de sus medias < 0.05). Por lo que se puede concluir que las estaciones de Alzira y Sant Jordi son las responsables de que las seis

Resultados

estaciones de estudio no conformen un único grupo homogéneo con una media común desde el punto de vista estadístico.

Tabla 5: Nivel de significancia obtenida de la diferencia de medias de las estaciones de estudio, resultado de aplicar el test de Tukey.

Estaciones	Viver	Caudete de las fuentes	Zorita	Sant Jordi	Burriana	Alzira
Viver	-	1.000	1.000	0.981	0.976	0.102
Caudete de las fuentes	1.000	-	1.000	0.971	0.969	0.068
Zorita	1.000	1.000	-	0.957	0.980	0.082
Sant Jordi	0.981	0.971	0.957	-	0.663	0.008
Burriana	0.976	0.969	0.980	0.663	-	0.434
Alzira	0.102	0.068	0.082	0.008	0.434	-

Este test también se obtiene cuales son los subgrupos homogéneos (misma media de PM_{10}) que se forman. En este caso hay dos. Un primer subgrupo formado por todas las estaciones menos la de Alzira y un segundo subgrupo formado por todas las estaciones menos Sant Jordi. Por otra parte, el resultado de este test también sugiere que no se puede establecer una clara diferencia significativa entre las medias de concentración de PM_{10} registradas en las estaciones de costa con las obtenidas en las estaciones situadas en el interior.

4.1.2- Semejanza estadística en las tendencias temporales

Para determinar si las tendencias temporales de los valores de PM_{10} registradas en todas las estaciones son semejantes estadísticamente, se han efectuado correlaciones lineales con los datos de PM_{10} registrados entre las distintas estaciones obteniéndose los respectivos coeficientes de correlación de Pearson (ver tabla 6).

Tabla 6: Coeficientes de correlación de Pearson obtenidos entre las distintas estaciones.

	Viver	Caudete	Zorita	Sant Jordi	Burriana	Alzira
Viver	1	0,78	0.799	0.629	0.798	0.630
Caudete	0.776	1	0.957	0.815	0.380*	0.783
Zorita	0.799	0.957	1	0.807	0.382*	0.755
Sant Jordi	0.629	0.815	0.807	1	0.587	0.869
Burriana	0.798	0.380*	0.382*	0.587	1	0.614
Alzira	0.630	0.783	0.755	0.869	0.614	1

* La correlación es significativa en el nivel 0.05

Se identifica los elevados coeficientes de correlación (ρ) como un indicador de la semejanza de la variabilidad temporal de los valores de PM_{10} registrados entre las distintas estaciones.

Todas las correlaciones mostradas son significativas al 99% de nivel de confianza, a excepción de las de Burriana con Caudete y Zorita que lo son al 95%. Por lo que se puede determinar que la tendencia temporal de los niveles de PM_{10} en todas las estaciones de estudio es semejante (desde un punto de vista estadístico). Esto implica que la variabilidad temporal de todas ellas viene determinada por los mismos factores y que en ninguna de ellas intervienen otras componentes que pudiesen modular las tendencias de los valores de PM_{10} . No obstante, llama la atención los bajos coeficientes registrados en Burriana al representar sus tendencias frente a Caudete y Zorita, ambos inferiores a 0.4.

4.2- Caracterización de los valores de PM_{10} en las estaciones de fondo regional

A partir de los resultados obtenidos en el anterior apartado se puede afirmar que cualquier estación (en cuanto a su concentración media y tendencia temporal) a excepción de Alzira o Sant Jordi (en función del subgrupo que escojamos) es representativa a la hora de caracterizar los valores de PM_{10} en las estaciones de fondo regional de la Comunidad Valenciana. Sin embargo, se ha escogido la estación de Caudete de las Fuentes como “estación representativa” del análisis debido a su elevada altitud. Esto es debido a que como posteriormente veremos esta es una condición idónea a la hora de abordar otras partes de este estudio.

En la figura 11 se pueden ver la evolución desde 2008 hasta el 2013 del PM_{10} en esta estación. Se puede apreciar como los patrones estacionales descritos en la introducción para este tipo de estaciones (ver apartado 1.4.2) se manifiestan con bastante exactitud en nuestra estación. De esta forma, se observa como durante los meses de verano hay una clara elevación de la concentración. Este incremento sustancial observado puede ser debido a diferentes causas como el incremento del aerosol marino provocado por las brisas marinas, el aumento de la resuspensión o una de las destacadas, la mayor frecuencia de entrada de polvo procedente del desierto del Sahara.

También se observa como estos máximos absolutos estivales difieren según el año, en anchura temporal y nivel máximo de concentración. Un claro ejemplo de ello es la

Resultados

comparativa de los dos últimos años medidos, en los que se aprecian diferencias en los máximos estivales de unos $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

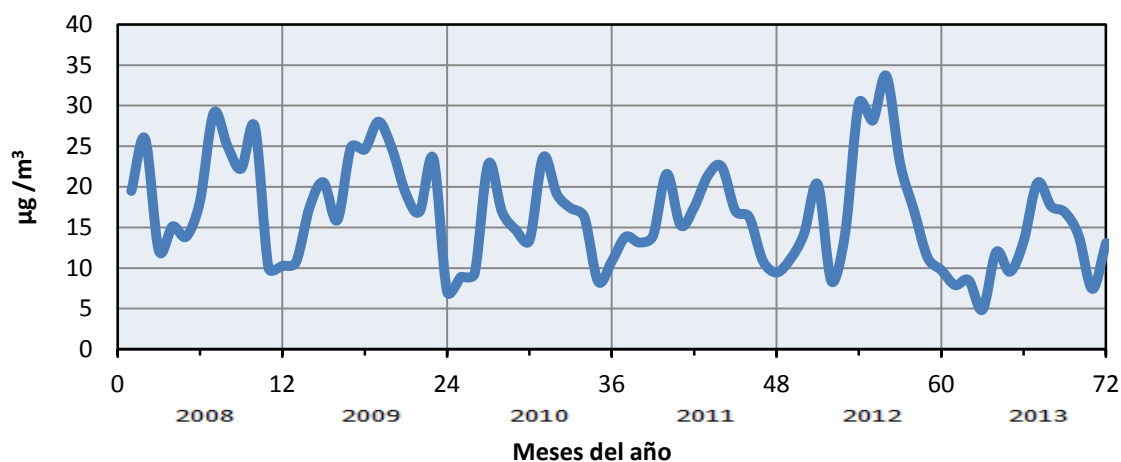


Figura 11: Evolución estacional de PM_{10} típica en las estaciones de fondo regional.

Por otra parte, también se puede ver de la figura 11 el típico máximo relativo que suele aparecer durante los meses de Febrero y Marzo. Finalmente, destacar la importante oscilación anual en los valores de concentración, pudiendo variar desde máximos de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a mínimos de unos $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual representa diferencias bastante notables.

4.3- Obtención diaria y anual de la carga de polvo africana

En esta parte del estudio se han obtenido los resultados de la contribución que sobre el nivel global de PM_{10} registrado en la estación control de Caudete de las Fuentes tiene la intrusión de polvo africano.

La cuantificación de estos aportes se ha realizado de forma anual, mensual y diaria entre 2008 y 2013. El método utilizado en la determinación de estos aportes es el método del percentil 40, explicado en el apartado 3.3 de la metodología. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 7. En ella se pueden ver las contribuciones del polvo sahariano a los valores estacionales y anuales de PM_{10} junto con el porcentaje que estas contribuciones representan al valor de PM_{10} .

En estos resultados hay que destacar que los valores de contribución más elevados se producen durante los meses de verano, donde destaca la contribución de 2012 con $8.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este valor constituyó un 57% del valor medio estival para ese año. Además, se puede observar como la contribución media estival prácticamente triplica a la registrada

Resultados

durante el invierno. También se observa que las contribuciones saharianas promedio anuales ($2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en los 6 años analizados) son bastante similares todos los años a excepción de 2013, donde el valor de concentración es algo menor.

Tabla 7: Aportes máxicos estacionales y anuales de material particulado expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con procedencia sahariana y porcentaje sobre el valor total de PM_{10} registrado.

Estación	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Media
Invierno	2.9 (22%)	0.3 (3%)	2.4 (27%)	1.7 (21%)	0.0 (0%)	0.1 (2%)	1.2 (12%)
Primavera	2.2 (16%)	4.3 (39%)	2.4 (27%)	3.5 (44%)	2.9 (20%)	1.3 (31%)	2.8 (28%)
Verano	3.3 (25%)	2.6 (24%)	2.3 (26%)	2.3 (29%)	8.3 (57%)	1.8 (43%)	3.4 (34%)
Otoño	5.0 (37%)	3.7 (34%)	1.7 (19%)	0.5 (6%)	3.4 (23%)	1.0 (24%)	2.6 (26%)
Promedio de la contribución	3.3 (22 %)	2.7 (18%)	2.2 (15%)	2.0 (14%)	3.6 (25%)	1.0 (7%)	2.5

Se puede observar como por lo general, los meses de invierno tuvieron un porcentaje de concentración de PM_{10} bastante menor, siendo muy similar en primavera y otoño, destacando los meses de verano con un porcentaje mayor.

Con el fin de detectar si la frecuencia con la que se producen los periodos saharianos influye en las contribuciones observadas en la tabla anterior, se ha determinado (Tabla 8) el número de días bajo influencia sahariana para el mismo periodo temporal.

Tabla 8: Número de días con intrusión africana y porcentaje sobre el total de días.

Días con Intrusión	Años						Total de días
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
Estación							
Invierno	21 (27%)	2 (3%)	5 (7%)	11 (16%)	3 (3%)	1 (2%)	43 (10%)
Primavera	15 (19%)	28 (35%)	14 (20%)	24 (35%)	21 (24%)	15 (27%)	117 (27%)
Verano	26 (34%)	35 (44%)	34 (48%)	27 (40%)	50 (57%)	23 (42%)	195 (45%)
Otoño	15 (19%)	14 (18%)	18 (25%)	6 (9%)	13 (15%)	16 (29%)	82 (19%)
Total	77	79	71	68	87	55	437

En la tabla 8 también se muestra el porcentaje de días bajo intrusión respecto del total para cada periodo temporal. Se puede observar que los días de intrusión en los meses de

Resultados

verano son los más abundantes con respecto al resto del año constituyendo aproximadamente un 45% del total de días, seguido de los meses de primavera. También hay que destacar los pocos días que hay intrusión en los meses de invierno, cuya media es de 7 días de intrusión, que es casi cinco veces menor que en los meses de verano.

Destaca nuevamente el verano de 2012 (50 días bajo los efectos de las intrusiones), lo cual puede sugerir que, en cierta medida, la contribución másica y el número de días pueden estar correlacionados. La correlación no será excepcional pues parece observarse también que las intrusiones que llegan durante el otoño aunque en menor frecuencia, si las comparamos con las de primavera o verano, aportan en términos relativos una mayor contribución de carga, llegando a ser del 26% del total (tabla 7).

Para determinar dicha correlación se ha representado (figura 12) la relación entre el número de días con intrusión frente a los valores de contribución.

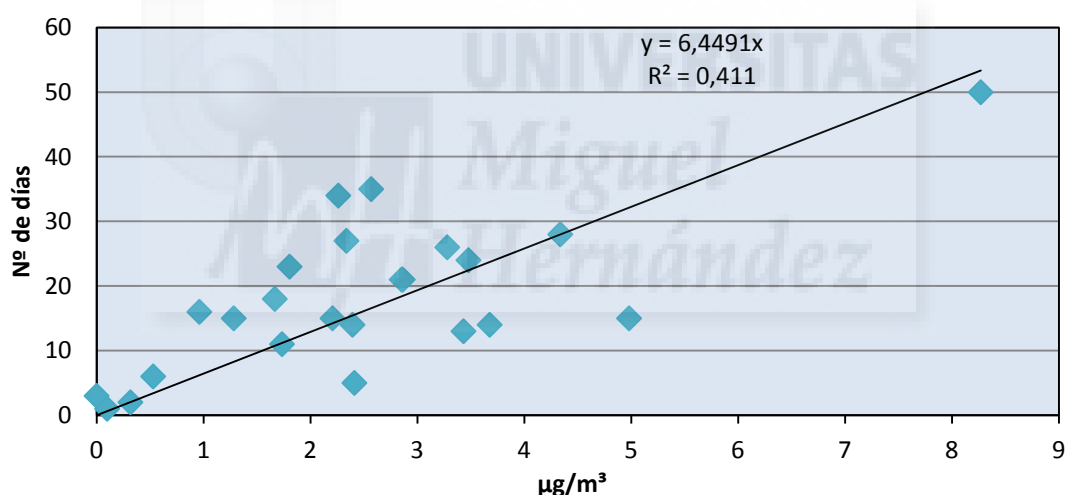


Figura 12: Correlación entre la contribución sahariana y el nº de días bajo su influencia.

El valor de $R^2 = 0.411$ indica que sí hay una relación entre días y concentración, aunque esta correlación está bastante condicionada por el valor de 50 días y la concentración de $8.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$; de hecho, eliminando dicho valor el valor de R^2 cae a 0.2. Por lo que se puede decir que aunque la contribución pueda depender del número de días bajo intrusión a la que esté sometida la estación, hay otros factores que sin duda influirán. Estos factores podrían ser: origen concreto de las masas de aire, recorrido realizado hasta llegar a la estación, altura a la que pasa por la estación, etc...

Finalmente, en la figura 13 se muestra la relación que hay entre los valores de contribución de PM₁₀ aportados por las intrusiones africanas y el número de días que se han producido a lo largo de cada estación. En la parte de la izquierda se encuentran el eje del número de días en los que ha habido intrusión, mientras que en el eje de la derecha se ve los valores de contribución al PM₁₀ en cada estación.

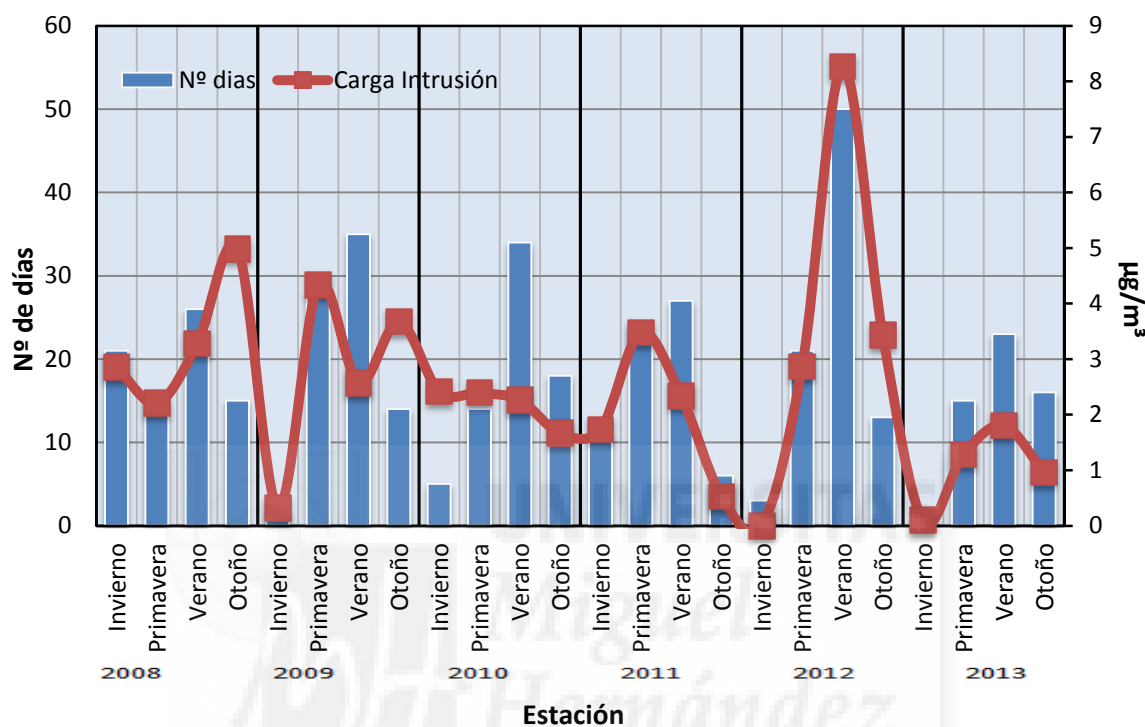


Figura 13: Número de días con intrusión frente a contribución sahariana en µg/m³.

Destaca por encima del resto el verano del año 2012 con una gran concentración de PM₁₀ y un elevado número de días con intrusión africana.

4.4- Influencia de la altitud de la estación en la obtención del aporte sahariano

Debido a que las masas de aire que provienen del norte de África cargadas con polvo sahariano suelen atravesar la Comunidad Valenciana a cierta altitud, es de suponer que en la determinación de su contribución al valor global de PM₁₀, la altura de la estación de fondo regional escogida será un factor importante.

Por ello, para cuantificar cómo afecta la altitud de la “estación control” se han comparado los aportes registrados en dos estaciones de fondo regional situadas a

diferentes altitudes. Las estaciones escogidas son la de Caudete de las fuentes y Sant Jordi. Como se muestra en la tabla 2 se encuentran a 794 y 175 metros sobre el nivel del mar respectivamente. Es decir una diferencia de unos 600 m que sin duda será suficiente para poder apreciar la diferencia de aportes.

Aunque la estación de Sant Jordi presenta los mismos días con intrusión que la estación de Caudete, ya que se encuentran en la misma zona geográfica, sin embargo, no registran la misma contribución neta de polvo africano. La tabla 9 presenta los aportes másicos saharianos (determinados mediante el método del percentil 40 medios anuales de ambas estaciones entre los años 2008 y 2013). También se muestra el porcentaje que esta contribución supone respecto al valor medio anual global de PM₁₀.

Tabla 9: Comparativa sobre el porcentaje del aporte sahariano al nivel global de PM₁₀ en estaciones con diferente altitud (St. Jordi vs. Caudete de las fuentes)

Año	PM ₁₀ medio (µg/m ³)		Contribución Intrusión (µg/m ³)		% del aporte sahariano	
	Caudete	S. Jordi	Caudete	S. Jordi	Caudete	S. Jordi
2008	19.4	17.0	3.3	2.1	17.5	12.3
2009	19.8	-	2.7	-	14.1	-
2010	15.2	13.0	2.2	1.0	14.5	7.7
2011	16.1	16.3	2.0	1.6	12.4	9.8
2012	18.5	14.5	3.6	1.3	20.5	8.9
2013	12.2	13.0	1.0	0.7	9.0	5.4
Media	16.9	14.8	2.5	1.3	14.7	8.8

De la tabla se observa como los valores son considerablemente más altos en la estación situada en Caudete de las fuentes que los obtenidos en Sant Jordi. En términos de concentración hay una diferencia de más de 1 µg/m³ y además se establece una diferencia porcentual media de casi un 6% entre ambas. Este resultado muestra la mayor sensibilidad que las estaciones situadas a elevadas alturas tienen a la hora de detectar las masas de aire procedentes del norte de África respecto a las situadas a menor altura.

4.5- Aplicación del resultado en estaciones de fondo urbano y de tráfico

Gracias a los resultados obtenidos en el anterior apartado y en base a la aplicación del anexo III de la Directiva 2008/50/CE, se pueden realizar los descuentos másicos pertinentes en los valores (diarios y anuales) registrados en estaciones urbanas que superen los valores límite legislados (ver apartado 1.1.4 de la introducción).

Resultados

Como ya se indicó estos descuentos únicamente se pueden realizar si se justifica su origen natural, como es el caso de las intrusiones saharianas. El valor del descuento es igual al valor de la contribución másica aportada (de forma diaria y/o anual) por la intrusión. Contribución determinada en este caso mediante el método del Percentil 40.

Se ha seleccionado como ejemplo de aplicación la estación de “Parc de Bombers” situada en la localidad de Elche, y se han realizado los descuentos (diarios y anual) para el año 2012. La clasificación específica de esta estación es la siguiente: nivel 1: urbana; nivel 2: tráfico y nivel 3: ubicación de costa. Los descuentos vienen determinados por las contribuciones saharianas obtenidas en la estación de Caudete de las fuentes. A este respecto corresponde decir que en general, si se quiere aplicar estas sustracciones a los valores registrados en una determinada estación urbana o industrial, debe hacerse en base a los descuentos obtenidos en la estación de fondo regional idónea para ello más cercana a la misma.

La estación del “Parc de Bombers” de Elche registró una concentración media anual de $24.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el número de días que superó el valor de concentración marcado por la ley fue de 7. Con estos valores la estación no estaría fuera de la normativa ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y 35 superaciones diarias del valor de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Sin embargo, realizamos los descuentos a modo de ejemplo.

Desde el punto de vista anual, a los $24.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ deberemos restarles los $3.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, concentración que corresponde a la contribución sahariana media anual para ese año obtenida en la estación de fondo regional (ver tabla 7). Una vez realizado este descuento la estación pasaría a tener una concentración media anual de $20.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

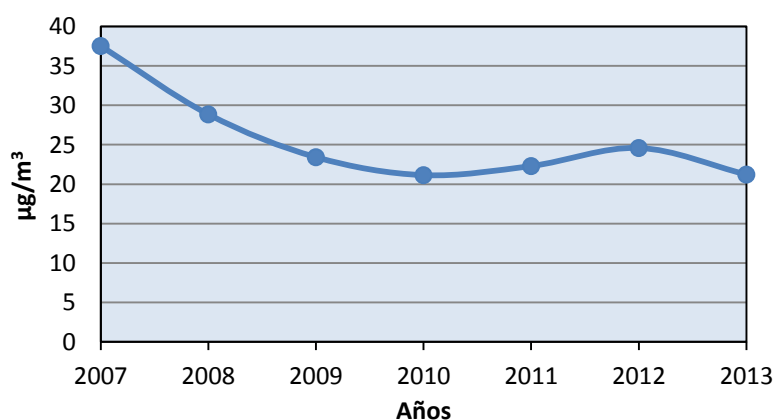
Respecto de los valores diarios, se ve que el número de días que la concentración supera el límite fijado por la Directiva ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) es de 7 bajo período de intrusión (ver tabla 10). Con la sustracción de los aportes diarios saharianos para esos días pasamos de 7 a 5 días, si bien hubo dos días en los que no se registraron datos en la estación regional. Como pone de manifiesto la tabla 10, a veces los descuentos son superiores a los propios valores registrados. En estos casos la metodología del P40, sugiere que se adopte como carga neta africana el promedio de la obtenida en la estación de referencia y el promedio registrado en la estación de fondo regional más próxima a ella. En el caso concreto de la tabla 10 no se ha efectuado este promedio, por ello el valor de PM_{10} en la estación urbana para el día 18/10/2012 de un valor negativo.

Tabla 10: Descuentos diarios aplicados a los días con valores superiores a los 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Fecha de superación	Valor $\text{PM}_{10} > 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Descuento ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valor PM_{10} “sin intrusión” ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
26/01/2012	54	Sin dato	-
01/04/2012	63	Sin dato	-
29/06/2012	68	63	5
30/06/2012	68	1	67
01/08/2012	61	7	54
18/10/2012	112	127	-13
19/10/2012	103	48	55

En la búsqueda de una estación de carácter urbano, en la cual la aplicación de los descuentos ejemplarizase un cambio sustancial, es decir, que de estar fuera de los límites fijados por la normativa pasara a cumplirlos, nos hemos dado cuenta que desde el año 2007 ninguna de ellas superaba los límites establecidos.

Parece ser que desde el año 2007, las concentraciones medias anuales de PM_{10} en estaciones urbanas han ido decreciendo de forma paulatina. Este decrecimiento se intuye que puede deberse al descenso de las actividades de construcción (principalmente en zonas costeras) que empezó a tener lugar durante esa fecha. Es conocido que las actividades de construcción son una fuente antrópica generadora de partícula gruesa por lo que podría ser esta una causa del citado descenso. También podría ser debido a un ligero descenso del parque automovilístico acontecido en los últimos años. En la figura 14 podemos visualizar este descenso para la citada estación de “Parc de Bombers”.

Figura 14: Evolución de la concentración de PM_{10} (media anual) entre los años 2007-2013.

Resultados

Se puede comprobar cómo el valor medio anual de 2007 experimenta una notable reducción, disminuyendo su concentración ostensiblemente entre los años 2009-2013, periodo en el que la concentración se mantiene más o menos estable.



5.- CONCLUSIONES

El estudio pone de manifiesto una gran semejanza estadística entre la mayoría de estaciones de fondo regional ubicadas en la C. Valenciana, lo que sugiere que los valores registrados en todas ellas están modulados por los mismos procesos naturales.

Sin duda alguna son los periodos estivales los que registran una mayor frecuencia de eventos saharianos. De hecho, durante el periodo estudiado casi la mitad de los días identificados como “día de intrusión”, tuvieron lugar durante el verano. En términos globales, (media obtenida sobre un periodo de 6 años), la contribución másica aportada por los transportes de masas de aire procedentes del norte de África a los niveles de PM_{10} registrados en estaciones de fondo regional ubicadas en la C. Valenciana se establece en torno a los $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este valor supone aproximadamente un 17% del valor global de PM_{10} . Dicha contribución global puede variar si la observamos año a año, oscilando entre 1 y $3.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

El estudio realizado ha puesto de manifiesto la importancia de la altitud de la estación regional escogida para la determinación de los aportes saharianos en la zona. Conocemos por la altura a la que viajan estos episodios que las estaciones más elevadas son las más sensibles. Sin embargo, este hecho provoca cierta incertidumbre a la hora de utilizar tales aportaciones como descuentos al aplicarlos en estaciones de carácter urbano, ya que según normativa estos descuentos deberían ser obtenidos en las estaciones de fondo regional “más cercanas” a la estación urbana donde se deben aplicar. Consideramos que el criterio de cercanía entre ambos tipos de estaciones (regional y urbana) no es suficiente y puede generar resultados que requieren de posteriores análisis, como el mostrado en la tabla 10, en el que el descuento a aplicar superaba en concentración al nivel registrado por la estación urbana para ese día. Quizás un nuevo factor de semejanza de altitud entre estaciones debería ser añadido. Esto haría que la metodología aplicada, la del percentil 40, (totalmente correcta a la hora de determinar las contribuciones saharianas en la estación regional), no presentase ambigüedades a la hora de aplicarse en los entornos urbanos.

Destacar finalmente, un hecho relevante relacionado con lo anteriormente dicho. Es la falta de estaciones regionales de fondo en la provincia de Alicante. Creemos que la

aplicación del procedimiento aquí utilizado, tendría una mayor fiabilidad, si al menos cada provincia tuviese un mínimo dos estaciones de fondo regional con dos altitudes diferentes. De esta forma, cada estación urbana dispondría de dos valores de aportes saharianos y podría utilizar para los descuentos, el más idóneo, o en su caso el promedio de ambos.

6.- PROYECCIÓN FUTURA

Observando los resultados obtenidos en este estudio, se podrían plantear dos proyectos futuros. Por un lado, con el objetivo de seguir indagando en la posible no semejanza de estaciones de fondo regional de interior con las ubicadas en la costa, ampliar su comparativa con estaciones ubicadas en comunidades más alejadas de la costa. Creemos que el efecto de la brisa, por su capacidad de penetración en el interior, es común a todas las estaciones de la C. Valenciana.

Por otra parte, se podría considerar realizar un estudio comparativo de diversos métodos utilizados para la obtención de la contribución másica aportada por la intrusión sahariana en los niveles de PM_{10} y así poder comprobar la mayor o menor equivalencia que existe entre ellos, teniendo en cuenta sus márgenes de error.

7.- BIBLIOGRAFIA

Bardouki, H., Liakakou, H., Economou, C., Sciare, J., Smolík, J., Zdimal, V., Eleftheriadis, K., Lazaridis, M., Dye, C., Mihalopoulos, N. (2003). *Chemical composition of size-resolved atmospheric aerosols in the eastern Mediterranean during summer and winter*. Atmospheric Environment 37, 195–208.

Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.

Escudero, M., Querol, X., Pey, J., Alastuey, A., Pérez, N., Ferreira, F., Cuevas, E., Rodríguez, S., Alonso, S. (2007). *A methodology for the quantification of the net African dust load in air quality monitoring networks*. Atmospheric Environment 41, 5516–5524.

Grupo de trabajo de la Comisión Europea sobre partículas atmosféricas en suspensión. Documento Final, 13 de Marzo de 2001.

Mészáros, E. 1999. *Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry*. Akadémiai Kiado.

Nicolás, J.F., Chiari, M., Crespo, J., García Orellana, I., Lucarelli, F., Nava, S., Pastor, C., Yubero, E. (2008). *Quantification of Saharan and local dust impact in an arid Mediterranean area by the positive matrix factorization (PMF) technique*. Atmospheric Environment 42, 8872-8882.

Norma UNE-EN 12341:1999: “Calidad del aire. Determinación de la fracción PM₁₀ de la materia particulada en suspensión. Método de referencia y procedimiento de ensayo de campo para demostrar la equivalencia de los métodos de medida al de referencia.”

Pey, J. (2008). Tesis Doctoral. “*Caracterización físico-química de aerosoles atmosféricos en el Mediterráneo occidental*”.

Querol, X., Pey, J., Pandolfi, M., Alastuey, A., Cusack, M., Pérez, N., Moreno, T.,

Bibliografía

Viana, M., Mihalopoulos, N., Kallos, G., Kleanthous, S. (2009). *African dust contributions to mean ambient PM₁₀ mass-levels across the Mediterranean Basin*. Atmospheric Environment 43, 28, 4266-4277.

Querol, X., Viana, M., Moreno, T., Alastuey, A., Pey, J., Amato, F., Pandolfi, M., Minguillón, M.C., Reche, C., Pérez, N., González, A., Pallarés, M., Moral, A., Monfort, E., Escrib, A., Cristóbal, A., Hernández, I., Miró, J.V., Jiménez, S., Reina Velázquez, F., Jabato R., Ballester, F., Boldo, E., Bellido J. (2012). *Bases científico-técnicas para un Plan Nacional de Mejora de la Calidad del Aire*. ISBN: 978-84-00-09475-1. Editorial CSIC.

Schwartz, J. and Neas, L.M. (2000). *Fine particles are more strongly associated than coarse particles with acute respiratory health effects in schoolchildren*. Epidemiology, 11, 6-10.

Viana, M. (2003). Tesis doctoral. “*Material particulado atmosférico en el Norte y Este de la Península Ibérica y Canarias*”.

