

UTILIZACIÓN CONJUNTA DE LAS REDES CIMEL Y EMEP/VAG/CAMP PARA EL ESTUDIO DE INTRUSIONES DE POLVO DEL SAHARA

María Palomo Segovia, Rosa García Marín, Leonor Martín Martín

INTRODUCCIÓN

El estudio de la composición química de la atmósfera es fundamental para profundizar en el su conocimiento y en el de los posibles procesos de cambio y evolución que en ella se desarrollan.

Los aerosoles son partículas en suspensión en la atmósfera. A pesar de su pequeño tamaño desempeñan un papel fundamental en el sistema terrestre. Se estima que anualmente se inyectan a la atmósfera millones de toneladas de ellos por procesos naturales (erosión del suelo, volcanes, spray marino...) o por las actividades humanas (industria, tráfico, fuegos...).

Los aerosoles modifican el balance radiativo de un modo directo al absorber y reflejar parte de la radiación solar y terrestre, y actúan de un modo indirecto al intervenir en la formación de nubes, determinando su tipo, duración y propiedades ópticas. Además, los aerosoles producen variaciones en la visibilidad, temperatura atmosférica y en el régimen de precipitaciones.

Atendiendo al tamaño de las partículas los aerosoles se clasifican en:

- **Partículas finas**, cuyas dimensiones oscilan desde unos nm hasta 0,1 mm (núcleos de Aitken o de condensación) y entre 0,1 y 2,5 mm (modo de acumulación).
- **Partículas gruesas**, cuyos diámetros van desde 2,5 a 100 mm.

Según su origen pueden ser extraterrestres, volcánicos, minerales, marinos, orgánicos, atendiendo a su composición química, sulfatos, nitratos, carbonáceos o amonios.

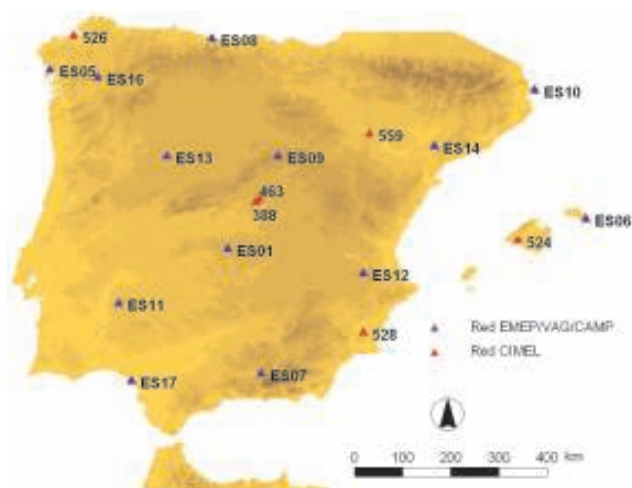
Tan importante como el conocimiento del tipo de partículas presentes en la atmosfera en un momento dado es la determinación de su distribución espacial y temporal, ya que ésta puede constituir una medida de la contaminación a escala local o regional y tiene un importante impacto en el clima global.

La distribución espacial y temporal de partículas está condicionada por la proximidad a las fuentes de emisión tanto naturales como antrópicas, la naturaleza del suelo, la topografía, las características de las partículas (tamaño, vida media, composición) y la situación meteorológica, en particular, el régimen de vientos y las precipitaciones.

Los desiertos y suelos áridos o semiáridos son la primera fuente mundial de aerosoles.

REDES DE OBSERVACIÓN

Para profundizar en el conocimiento de la composición física y química de la atmósfera y su variación, la AEMET cuenta con distintas redes de observación y vigilancia que obtienen información periódica y continua sobre la presencia de aerosoles atmosféricos tanto en superficie como en columna. Estas redes son la red CIMEL y la red EMEP/VAG/CAMP.



Red EMEP/VAG/CAMP	
CÓDIGO	ESTACIÓN
ES01	San Pablo de los Montes (Toledo)
ES05	Noia (A Coruña)
ES06	Mahón (Menorca)
ES07	Víznar (Granada)
ES08	Niembro-Llanes (Asturias)
ES09	Campisábalos (Guadalajara)
ES10	Cabo de Creus (Gerona)
ES11	Barcarrota (Badajoz)
ES12	Zarra (Valencia)
ES13	Peñausende (Zamora)
ES14	Els Torms (Lleida)
ES16	O Saviñao (Lugo)
ES17	Doñana (Huelva)
Red CIMEL	
CÓDIGO	ESTACIÓN
388	Madrid
559	Zaragoza
528	Murcia
524	Palma de Mallorca
526	Coruña
463	Madrid CRN

Figura 1. Estaciones de AEMET para la medida de partículas atmosféricas.

Red CIMEL

Los fotómetros solares son instrumentos diseñados para realizar medidas de radiación solar directa y difusa en distintas longitudes de onda y, a partir de ellas, estimar el Espesor Óptico de Aerosoles (EOA) existente en la atmósfera en un momento y en un lugar determinado.

La red de fotómetros solares CIMEL comenzó a funcionar en 2003 y está formada por seis equipos instalados en Coruña, Madrid (2), Murcia, Palma de Mallorca y Zaragoza.

Cada uno de estos fotómetros lleva a cabo un programa diario de medidas a partir de las cuales, y mediante un software de automatización de la captura y proceso de los datos, se realiza una estimación de la distribución espacial de los aerosoles en distintos puntos del territorio nacional.

El fotómetro solar CIMEL realiza dos mediciones básicas: una directa al Sol y otra al cielo. Los equipos tienen programadas un patrón de medidas automáticas que varían con el tiempo, pero que es simétrico con respecto al mediodía. Estas medidas se realizan a través de una serie de filtros espectrales.



Figura 2. Equipo CIMEL. SSCC AEMET, Madrid.
Foto: MPS

El EOA se calcula a partir de la extinción de la irradiancia directa en bandas espectrales utilizando la ley de Beer Lambert Bouguer. Con estas medidas se realiza una estimación de la atenuación debida a la dispersión de Rayleigh, a la absorción debida al ozono y, como valor residual, se obtiene el EOA.

Los datos registrados están sometidos a un proceso de control de calidad que filtra los datos erróneos, elimina los registros realizados con nubosidad y garantiza la calidad de los productos obtenidos.

Además del EOA, las medidas realizadas con los equipos CIMEL permiten conocer otras propiedades ópticas de los aerosoles, como su tamaño, forma, composición o procedencia mediante la aplicación del modelo OPAC.

Los valores de EOA son muy variables tanto en el espacio como en el tiempo.

Red EMEP/VAG/CAMP

La red EMEP/VAG/CAMP está formada por trece estaciones situadas en zonas alejadas de grandes focos de contaminación donde se miden los niveles de fondo regional de gases y partículas atmosféricas, así como la precipitación química.

Su objetivo es proporcionar observaciones de alta calidad para establecer valoraciones científicas y alertar lo antes posible sobre los cambios atmosféricos que puedan tener un impacto en el medio ambiente. Su importancia crece a medida que se comprenden mejor los fuertes vínculos entre calidad del aire y cambio climático.

La captación de partículas se realiza sobre un filtro por el que se hace pasar un caudal fijo de aire durante 24 horas. En cada estación existen dos equipos con diferentes cabezales de corte según la fracción muestreada: PM_{2,5} (partículas con diámetro aerodinámico de hasta 2,5 mm) o PM₁₀ (partículas con diámetro aerodinámico de hasta 10 mm). En Noia, Mahón y Doñana sólo se realizan mediciones de PM₁₀.

El laboratorio del Área de Calidad Ambiental del Instituto de Salud Carlos III determina por gravimetría la concentración de partículas en cada filtro y su composición química por diferentes métodos de análisis.

Por sus efectos nocivos sobre la salud, la Directiva Europea 1999/30/CEE estableció como valor límite anual de la concentración de PM₁₀, 40 µg/m³ y como valor límite diario 50 µg/m³, no pudiendo superarse este valor más de 35 veces al año. La nueva Directiva 2008/50/CE de 21 de mayo, introduce disposiciones sobre partículas finas (PM_{2,5}), establece la necesidad de realizar mediciones detalladas de las mismas en estaciones de fondo y fija, para una primera etapa, un valor límite anual de 25 µg/m³ para el 1 de enero de 2015.

Los valores de PM₁₀ y de PM_{2,5} obtenidos en la red EMEP/VAG/CAMP permanecen por debajo de estos límites y aunque se producen superaciones del valor límite diario de PM₁₀ nunca ocurren más de 35 veces al año. En esta red, dichas superaciones son causadas por fenómenos naturales, como los aportes de partículas crustales contenidas en masas de aire procedentes de África. Estos episodios son más frecuentes en primavera y verano.

La utilización conjunta de los resultados de estas dos redes, junto con el estudio de la situación meteorológica existente en un momento dado, permiten detectar episodios en los que se producen concentraciones especialmente elevadas de partículas o distribuciones espaciales de las mismas diferentes de las esperadas así como su origen.

El siguiente caso de estudio permite demostrar la utilidad del uso conjunto de la información procedente de las redes CIMEL y EMEP/VAG/CAMP para detectar intrusiones de polvo procedentes del norte de África.

CASO DE ESTUDIO

Entre los días 10 y 18 del mes de octubre de 2008 se produjo una intrusión de polvo sahariano en la Península.

Situación meteorológica

El día 10 se observan altas presiones en 850 hPa en el centro de Europa y una depresión situada sobre el norte de África, que más tarde se desplazaría hacia el oeste entre Canarias y el Golfo de Cádiz, causando un acusado gradiente de presión sobre la Península. La situación sinóptica en 500 y 700 hPa era similar, dando origen a fuertes vientos de componente sur que facilitaban el transporte de partículas desde el desierto hacia el norte. El día 18, los mapas de 500, 700 y 850 hPa reflejan bajas presiones sobre Europa y altas presiones al suroeste de las Azores con vientos predominantes del oeste.

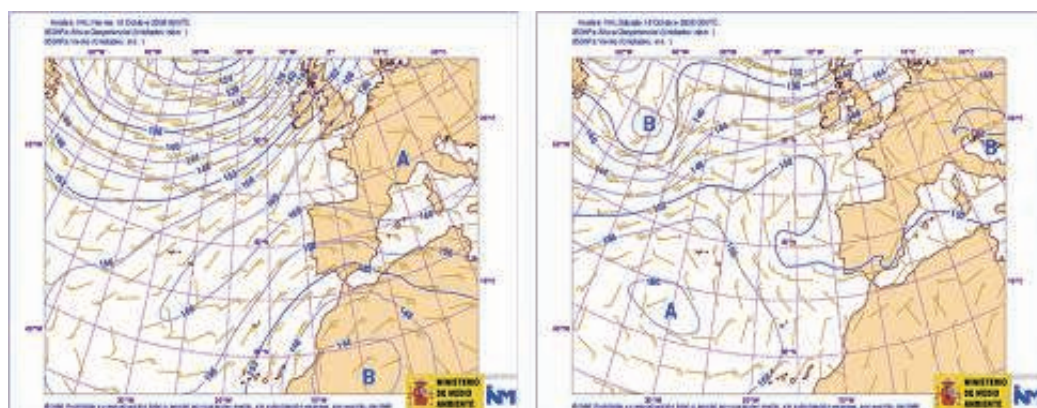


Figura 3. Análisis en 850 hPa a las 00 UTC de los días 10 y 18 de octubre de 2008.

El estudio de las retro trayectorias que señalan el origen y recorrido de las masas de aire sobre las estaciones de medida, revela que el día 10 una masa del sureste procedente del Sáhara invadía la Península y Baleares, en los días posteriores un giro del viento hacia el sur intensificó este escenario. La situación persistió hasta que vientos del oeste propiciaron la llegada de una nueva masa de aire de origen atlántico el día 18.

Otro factor que contribuye a las intrusiones de polvo desértico sobre Europa es la proximidad de la zona de convergencia intertropical que puede llegar a situarse entre 20° y 30° de latitud norte durante el verano.

Los procesos de convección que tienen lugar en ella inyectan material particulado de todos los tamaños en la alta troposfera. El transporte de este material se realiza en todos los niveles pero se ve intensificado por encima de la capa límite por las altas velocidades del viento y la falta de procesos de lavado de las masas de aire.

Resultados: Red CIMEL

Como puede apreciarse en las gráficas de la Figura 4 entre los días 10 y 18 se registraron unos valores anormalmente elevados de EOA. El EOA superó, en todos los casos, el valor de 0,90.

El valor máximo de EOA registrado fue de 2,87 el día 11 en la estación de Zaragoza con los filtros de 1020 y 380 nm.

El valor máximo más bajo de EOA registrado fue de 0,92 el día 12 en la estación de Madrid con el filtro de 440 nm.

Los valores máximos se registraron con los filtros de menores longitud de onda ($\lambda = 340$ y $\lambda = 380$ nm).

long. onda (nm)	CORUÑA	MADRID CRN	MADRID	MURCIA	PALMA	ZARAGOZA
340	1,30	0,00	0,00	1,16	0,79	2,26
380	1,15	0,00	0,00	1,17	1,07	2,87
440	1,18	0,93	0,92	1,16	1,07	2,86
500	1,05	0,00	0,00	1,14	1,04	2,82
670	0,87	0,89	0,88	1,08	0,99	2,79
870	0,78	0,87	0,84	1,05	0,99	2,83
1020	0,76	0,90	0,84	1,02	0,99	2,87

Figura 4. *Valores máximos de Espesor Óptico de Aerosoles (EOA) registrados en los distintos filtros*

Los valores máximos de EOA se produjeron el día 11 en Zaragoza, el día 12 en Coruña y Madrid, el día 13 en Murcia y el día 14 en Palma.

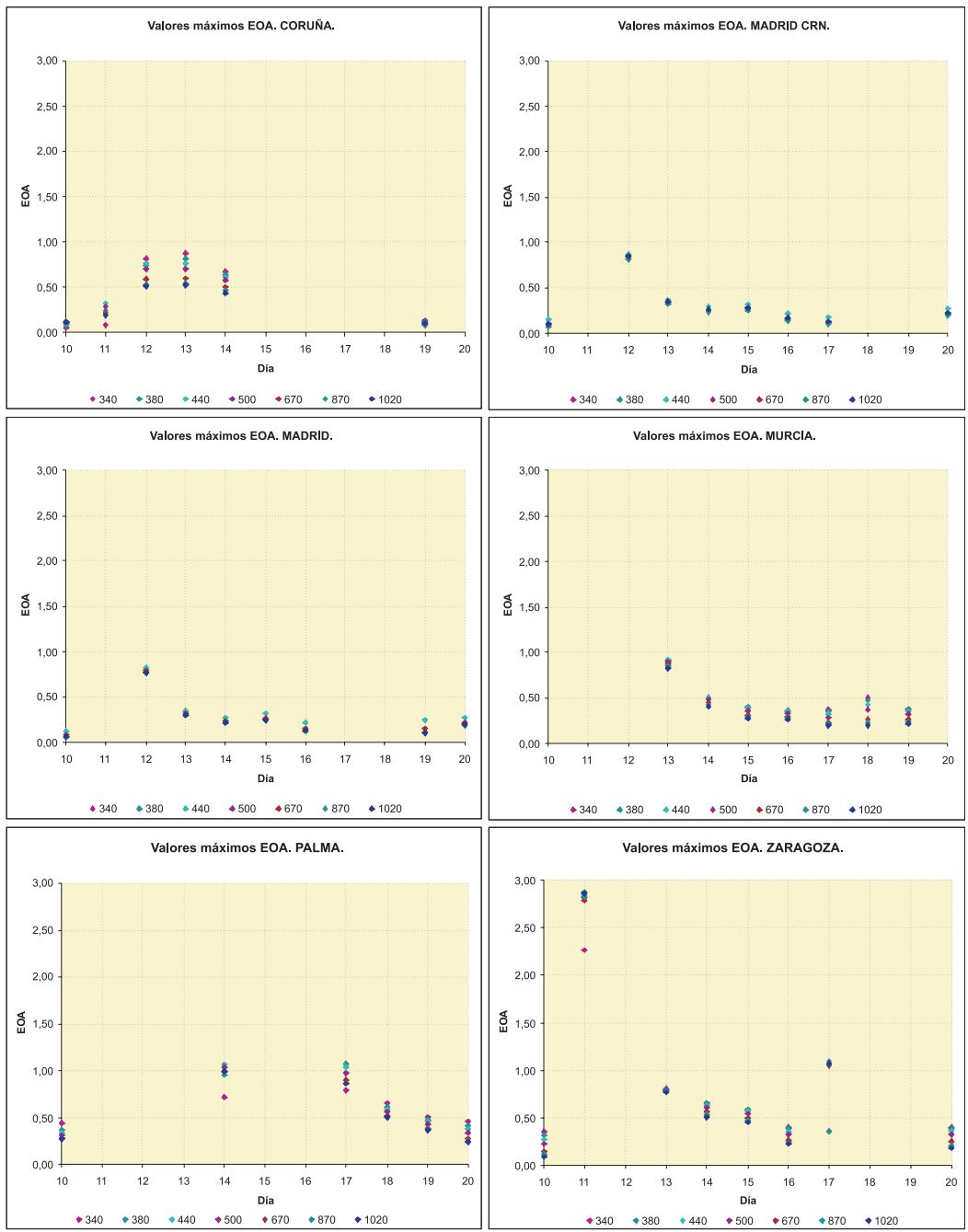


Figura 5. Valores máximos de Espesor Óptico de Aerosoles (EOA) por estaciones.

Resultados: Red EMEP/VAG/CAMP

La intrusión estudiada tuvo una gran incidencia en las concentraciones de partículas medidas en esta red, PM10 y PM2,5. Su influencia llegó hasta las estaciones situadas más al norte que con frecuencia escapan a estas intrusiones, así en O Saviñao (Lugo) se registró el máximo anual de PM10 (71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) el día 12 de octubre.

La figura 7 muestra los resultados de PM10 expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los parámetros considerados son el valor medio de la concentración, su valor máximo y la fecha del mismo para dos periodos diferentes: el año 2008 y el mes de octubre de dicho año. La figura 8 resume los datos para PM2,5 en los mismos periodos. En las estaciones de Noia, Mahón y Doñana no se realizan medidas de partículas finas.

La media del mes de octubre es superior a la media del año en todas los emplazamientos salvo en Noia, Niembro y Zarra que presentan concentraciones similares. Todos los máximos de octubre se registran entre los días 11 y 16, por tanto son una consecuencia directa de la intrusión de aire africano. Este episodio, que destaca por su duración y por su intensidad, es el responsable del máximo anual en siete estaciones de la red. En Niembro, Barcarrota y Doñana, situadas en el oeste peninsular, el máximo anual se registró entre el 11 y el 14 de febrero.

PM10 ESTACIÓN	AÑO 2008			OCTUBRE 2008		
	v. medio	v. máximo	fecha	v. medio	v. máximo	fecha
SAN PABLO	12	110	12-oct	21	110	12-oct
NOIA	8	58	18-jun	7	40	12-oct
MAHÓN	15	46	10-sep	20	42	16-oct
VÍZNAR	18	309	11-oct	35	309	11-oct
NIEMBRO	17	63	11-feb	17	36	13-oct
CAMPISÁBALOS	8	63	13-oct	13	63	13-oct
CABO CREUS	18	64	15-oct	21	64	15-oct
BARCARROTA	14	89	14-feb	18	64	11-oct
ZARRA	12	117	29-ene	12	71	12-oct
PEÑAUSENDE	10	45	12-oct	12	45	12-oct
ELS TORMS	14	88	14-oct	23	88	14-oct
O SAVIÑAO	10	71	12-oct	12	71	12-oct
DOÑANA	17	115	14-feb	20	71	11-oct

Figura 7. Concentración de PM10 expresada en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 2008, en la red EMEP/VAG/CAMP.

La intrusión tuvo menos consecuencias sobre las concentraciones de PM2,5 como muestra el hecho de que las medias de octubre sean similares a las anuales, salvo en Víz-nar donde dicho valor medio es considerablemente superior al valor medio anual. Los máximos de octubre se producen entre el 11 y el 15 del mes y sólo en dos estaciones (Víz-nar y San Pablo de los Montes) el máximo anual es debido a este evento.

Por su posición y altitud Víz-nar (Granada) es la estación de la red EMEP/VAG/CAMP que sufre más invasiones de aire africano. Durante el año 2008 registró trece superacio-nes del valor límite anual legislado (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), frente a las siete contabilizadas en la segunda estación más afectada, Zarra (Valencia). Desde que en el año 2001 comenzó la

serie de medidas de material particulado en Víznar, esta intrusión es la responsable de los máximos absolutos registrados en dicho emplazamiento. Los valores anteriores eran 196 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10, correspondiente al 23 de julio de 2004, y 49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM2,5 que se produjo el 19 de marzo de 2005.

PM2,5	AÑO 2008			OCTUBRE 2008		
	v. medio	v. máximo	fecha	v. medio	v. máximo	fecha
SAN PABLO	6	23	12-oct	7	23	12-oct
VÍZNAR	10	112	11-oct	15	112	11-oct
NIEMBRO	9	33	23-feb	8	19	14-oct
CAMPISÁBALOS	6	58	22-ene	6	19	12-oct
CABO CREUS	8	35	16-feb	9	23	13-oct
BARCARROTA	6	19	14-feb y 16-dic	6	15	10-oct
ZARRA	6	25	06-may	6	11	11y 15-oct
PEÑAUSENDE	7	30	19-jul	7	19	12-oct
ELS TORMS	8	42	06-feb	8	17	14 y 15-oct
O SAVIÑO	6	26	23-ene	6	22	12-oct

Figura 8. Concentración de PM2,5 expresada en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 2008, en la red EMEP/VAG/CAMP.

La figura 9 representa los valores diarios de octubre de 2008 en la estación de Víznar y la figura 10 los registrados este mismo mes en O Saviñao (Lugo). Las gráficas ponen de manifiesto que el polvo sahariano también llegó al noroeste peninsular; aunque las concentraciones alcanzadas en O Saviñao son notablemente inferiores a las de Víznar, el máximo producido en dicha estación (70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) es considerablemente superior a demás registros del año.

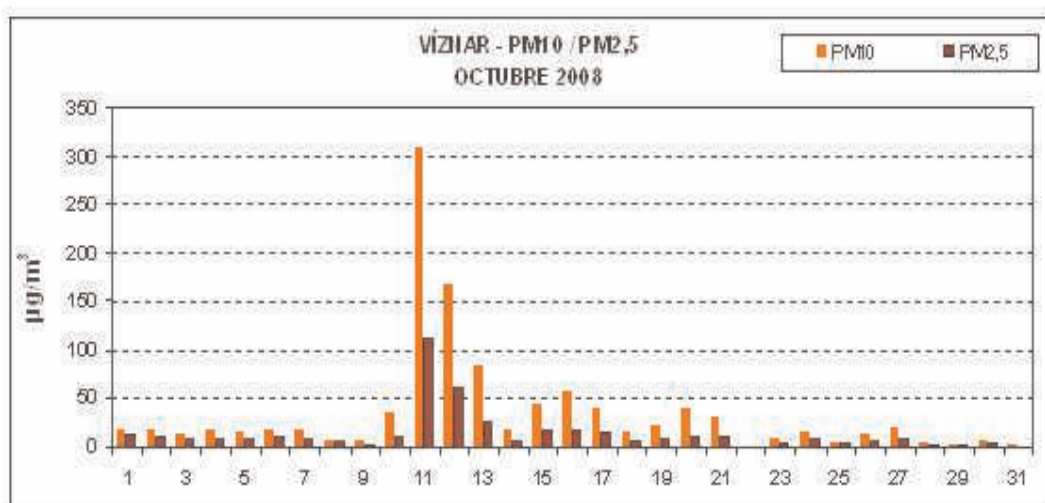


Figura 9. Valores diarios de PM10 y PM2,5 en Víznar (Granada), en octubre de 2008.

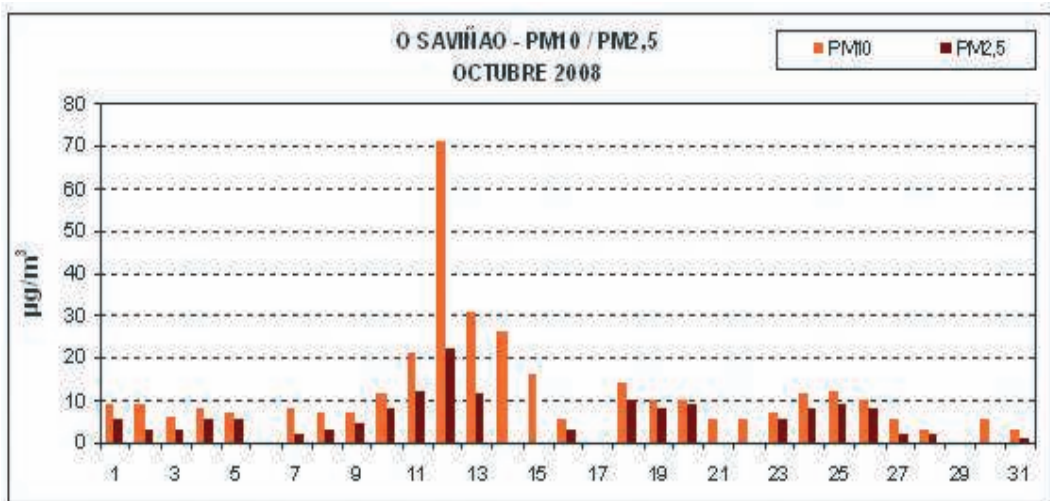


Figura 10. Valores diarios de PM10 y PM2,5 en O Saviñao (Lugo), en octubre de 2008.

CONCLUSIONES

- La observación de la distribución espacial y temporal de partículas en la atmósfera tiene gran importancia para profundizar en conocimiento de ésta, su comportamiento y los procesos que en ella tienen lugar.
- Existen distintas redes cuyo objetivo es la vigilancia de la distribución de estas partículas, su concentración, composición y variación temporal. Las redes CIMEL y EMEP/VAG/CAMP de AEMET cumplen con los objetivos anteriores en todo el territorio nacional.
- La presencia de partículas en la atmósfera está condicionada, entre otros factores, por la situación meteorológica. Determinadas situaciones meteorológicas favorecen los aportes de material particulado de origen sahariano sobre el territorio nacional.
- La situación meteorológica existente entre los días 10 y 18 de octubre de 2008 originó una intrusión de polvo sahariano cuyos efectos se registraron en las distintas redes de observación de partículas en suspensión de la AEMET. Este episodio tuvo un carácter especialmente intenso y persistente, afectando a toda la Península y Baleares.
- La ocurrencia de este episodio en el mes de octubre supone situación excepcional, puesto que las intrusiones de aire sahariano son más frecuentes en primavera y verano cuando la posición de la zona de convergencia intertropical es más próxima a Europa y las condiciones meteorológicas favorecen el transporte.
- Las concentraciones de partículas registradas fueron especialmente elevadas, produciendo los valores máximos anuales en gran parte de las estaciones. En algunos casos se registraron además valores máximos históricos.
- La utilización conjunta de dos redes de observación proporciona una mejor cobertura espacial y un conocimiento más completo de la composición de la atmósfera y su variación.

Fuente: **AEMET 2009.**