

# SAHARAN DUST OUTBREAK INFLUENCE TO PM<sub>10</sub> LEVELS IN LOGROÑO AREA, (SPAIN)

E. P. Vergara González <sup>a,p</sup>, F. Alba Elías <sup>b</sup>, M. Castejón Limas <sup>c</sup>, F. J. Martínez de Pisón <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad de La Rioja, c/ Luis de Ulloa 20, 26004, Logroño, La Rioja, Spain.

<sup>b</sup> Universidad Pública de Navarra, Campus de Arrosadía, 31006, Pamplona, Navarra, Spain

<sup>c</sup> Universidad de León, Campus de Vegazana, s/n, 24071, León, Castilla y León, Spain.

## RESUMEN

El análisis de los niveles de PM<sub>10</sub> registrados en la ciudad de Logroño en los seis últimos meses del 2001, muestran picos que pueden ser fácilmente relacionados, a través de los mapas de diferentes modelos de predicción (SKIRON, NAAPS) e imágenes satélite (SeaWIFS y TOMS) con el transporte de masas de aire de origen sahariano sobre la zona. Durante los seis meses estudiados, la mayor parte de estos eventos de aporte natural se han producido en los meses más cálidos, inducidos por la presencia de una actividad anticiclónica sobre el Norte de África, mientras que los producidos durante los meses de otoño se comprueba que son debidos a una situación sinóptica en la que se aprecia un centro de bajas presiones en el Oeste o Sudoeste de la Península. Se muestra también, la estacionalidad de las fuentes de estas masas de aire, encontrándose esta en la zona del Sáhara (20°N-30°N) durante los meses más cálidos, y el Sahel (10°N-20°N) durante los meses de otoño-invierno, siendo esto achacable al desplazamiento estacional de la zona de convergencia intertropical (ZCIT). La intrusión de estas masas de aire africanas ha supuesto la superación del valor límite –media de 24h- en la ciudad de Logroño en 14 ocasiones, lo que representa un total del 51,8% sobre el total de los seis meses estudiados, llegándose a alcanzar valores horarios de 233  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , y un máximo para el promedio de 24h de 93,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Estos niveles ponen en un serio compromiso la consecución de los objetivos de calidad ambiental para este parámetro en la Comunidad de La Rioja, dado que para el año 2010 no podrá ser superado este valor límite en más de 7 ocasiones por año.

*Keywords:* PM<sub>10</sub>, Intrusiones saharianas, La Rioja, Logroño, Calidad del aire.

## 1. INTRODUCCIÓN

La reciente aprobación de la normativa que traspone al ordenamiento jurídico español la directiva europea de calidad del aire (99/30/CE), ha obligado a reemplazar el estándar español de control del material particulado, basado en partículas en suspensión totales (PST), por un nuevo estándar basado en la fracción de estas partículas con diámetro aerodinámico inferior a 10 $\mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>).

La nueva normativa sobre calidad del aire establece los valores límite de PM<sub>10</sub> a cumplir en el año 2010 (20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  como media anual, no pudiendo ser excedidos los 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  más de 7 días por año). Además, establece un paso intermedio entre el año 2005 y el 2010 con valores más permisivos (40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  como media anual, no pudiendo excederse los 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  más de 35 días por año).

Comparando los valores de ambos estándares, se aprecia una brusca reducción de los valores límite hacia valores más exigentes y restrictivos, aún teniendo en cuenta que se trata de diferentes parámetros (PST vs PM<sub>10</sub>). Estos nuevos límites están basados en las investigaciones acerca de los efectos que sobre la salud humana tiene la exposición a

este tipo de material en suspensión, además de otros efectos, perjudiciales, aunque no tan nocivos, como pueden ser la reducción de la visibilidad o sus efectos sobre el clima.

En Europa, las diferencias climáticas y geográficas entre regiones sur y centro hacen que las características físico-químicas de las partículas sean diferentes. La región mediterránea presenta unas cualidades muy especiales a este respecto. Según Querol et al., (2002), son tres las características más destacadas: a) los importantes aportes de materia mineral (Bergametti et al, 1989; Querol et al., 1998 a y b, Artíñano et al., 2001, Rodríguez et al., 2001); b) un mayor índice de insolación, lo que da lugar a un mayor número de partículas secundarias debidas a procesos fotoquímicos que en el norte de Europa; y c) unas características meteorológicas que favorecen la acumulación de este contaminante: bajo régimen pluviométrico y escasa renovación de las masas de aire, asociada a recirculaciones regionales de las mismas como consecuencia de la abrupta orografía.

El Real Decreto 1073/2002, de 18 de Octubre, propone un especial tratamiento en aquellos casos donde los valores límite de concentraciones de PM<sub>10</sub> se excedan por causas naturales, provocando estas aportaciones naturales concentraciones en aire ambiente superiores a los valores normales de fondo natural. En estos casos, las comunidades autónomas deberán justificar y demostrar debidamente que estas superaciones de los valores límite se deben a causas naturales.

Este artículo pretende analizar la influencia que el aporte mineral natural procedente del Norte de África tiene sobre la calidad del aire en ciudades tan aparentemente alejadas del Sur de España como es el caso de Logroño, y como este aporte, imposibilitará, en la práctica, la consecución del objetivo de calidad del aire fijado por la Directiva europea.

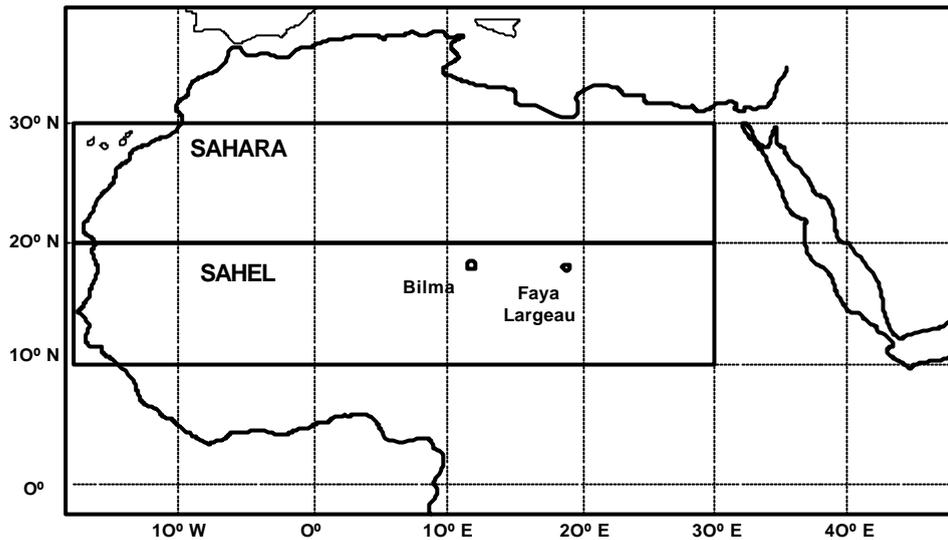
## **2. LAS INTRUSIONES SAHARIANAS**

Se acepta de forma general que Europa está afectada por frecuentes intrusiones de aire con altas concentraciones de polvo atmosférico procedente de África. Este polvo se compone de partículas minerales (principalmente, calcita, óxido férrico, cuarzo y minerales de la arcilla) que difiere considerablemente, en composición y tamaño de grano, de las partículas de origen antropogénico. Aunque una proporción grande de este material particulado se encuentra en la fracción superior a 10 micras, los altos niveles de partículas registrados durante estos eventos hacen que las medidas de PM<sub>10</sub> (partículas inferiores a 10 micras) estén también afectadas.

El transporte de material mineral desde África requiere de procesos de resuspensión masiva de polvo en zonas áridas. El Norte de África posee zonas desérticas con una humedad relativa extremadamente baja y temperaturas estivales muy altas, lo que permite la resuspensión masiva de grandes cantidades de material particulado. El calentamiento de la superficie provocado por estas altas temperaturas, genera fuertes corrientes térmicas ascendentes que inyecta esta material en las capas altas de la atmósfera, pero que la estabilidad provocada por las inversiones térmicas nocturnas impide que sedimenten, permaneciendo, gracias a este mecanismo durante grandes períodos de tiempo en la atmósfera.

Es posible identificar dos grandes zonas fuente de tormentas de polvo: el desierto del Sáhara y el Sahel. El Sahel se define como la banda latitudinal entre 10° y 20°N, limitado por la costa Oeste africana y los 30°E. Por su parte, la zona conocida como Sahara, se define a efectos meteorológicos como la banda existente entre los 20° y los 30°N, limitado por la misma banda longitudinal que el Sahel. Estas definiciones de

Sahel y Sahara son arbitrarias, aceptándose que la región del Sahel se extiende por aquellas zonas donde la agricultura y el impacto humano sobre el suelo es mínimo o no existe. Esta definición permite que pueda considerarse como límite Norte de esta zona la isoyeta de 200 o 250mm.



**Fig 1.** Situación de las zonas conocidas como Sáhara y Sahel

El desierto de Sáhara es la principal fuente de polvo durante la “estación húmeda” –de mayo a Octubre-, mientras que el Sahel lo es durante la “estación seca” –de Noviembre a Abril-. Esta estación puede dividirse en dos: una “estación seca temprana” –de Noviembre a Diciembre-, y una “estación seca tardía” –de Enero a Abril-.

La variación estacional de las fuentes se debe a la migración de las condiciones meteorológicas, especialmente de la discontinuidad superficial asociada al movimiento de la zona donde los vientos procedentes de ambos hemisferios coinciden, denominada zona de convergencia intertropical (ZCIT). Durante seis meses al año la carga de polvo es más alta al sur de los 20°N, y durante cuatro de estos seis meses, el máximo se encuentra localizado en la zona desde los 15° hasta los 17°N, mientras que para los dos meses restantes, este máximo se encuentra entre los 18° y los 20°N (Brooks, 1999).



**Fig 2.** Imagen de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) a su paso sobre América del Sur y el Océano Pacífico. La ZCIT es la banda nubosa blanquecina que se aprecia en el centro de la imagen. La imagen ha sido realizada a partir de los datos de nubes del satélite GOES-11 y una imagen en color de cobertura del suelo. Fuente GOES Project Science Office.

La posición de la ZCIT varía entre los 6°N en el invierno boreal, hasta los 20°-25°N en Agosto, en aquellos años en que la penetración hacia el Norte es máxima.

La mayor parte de las intrusiones de polvo sobre la Península Ibérica ocurren en el período Mayo-Septiembre, siendo los meses de Enero, Mayo, Junio, Agosto y Octubre los que exhiben una mayor probabilidad de ocurrencia.

De **Enero a Junio** la ZCIT se sitúa en torno a los 10°N por lo que la principal fuente de polvo es la zona saheliana. El máximo de producción de polvo se sitúa en 15°-17°N. (Bilma -18°N, 12°E, Níger- y Faya.Largeau -18°N, 19°E, Chad-). Esta es una zona bien conocida como fuente de polvo (Brooks, 1999; CSIC-MMA, 2002b; Rodríguez et al., 2001). Una posible explicación de esta productividad podría ser, avanzada por Brooks (1999), que a pesar de tener esta zona una baja pluviometría media anual, durante los meses de verano sufre intensas lluvias que provocan una enorme erosión del suelo, favorecida por la escasa cubierta vegetal. Durante estos meses, dos son las situaciones sinópticas que producen estos eventos. En primer lugar, la situación de depresiones al Oeste o Sudoeste de Portugal (Rodríguez et al, 2001). En segundo lugar, y aunque menos habitual, se produce entre los meses de Febrero y Marzo, provocadas por altas presiones sobre la península, en altitudes a nivel de 850hPa, lo que da lugar a una intrusión denominada de arco atlántico, ya que la nube de polvo, tras abandonar África por la costa del Sahel, pasando sobre las Islas Canarias, gira para llegar a la península por el Norte, entrando por el Atlántico, por efecto de esta alta presión.

La combinación de la situación ciclónica con la anticiclónica también es un posible escenario de eventos de intrusión de polvo.

Entre **Julio y Agosto** se produce un calentamiento muy importante sobre el Sahara (18°-20°N), que da lugar a un pico de producción de polvo en la estación húmeda, provocando intensos procesos de inyección de material particulado, hasta 5000m s.n.m. Esta inyección ya no se produce sobre el Sahel debido al desplazamiento de la ZCIT hacia el Norte en el verano boreal. Estos procesos dan lugar a plumas poco definidas por ser de gran extensión, pudiendo afectar a toda la península. La situación sinóptica que provoca estos eventos es la posición de un anticiclón en el Suroeste de la Península a la altura de Argelia y Egipto, en el nivel de 850hPa.

De **Septiembre a Octubre** son las depresiones al Oeste de Portugal las que provocan las intrusiones sobre la Península.

De **Noviembre a Diciembre** no son habituales este tipo de intrusiones, debido a que se producen fuertes lluvias en los tres últimos meses del año sobre la ZCIT, ahora situada en torno a los 3°-12°N, dando lugar a un nivel de polvo muy bajo.

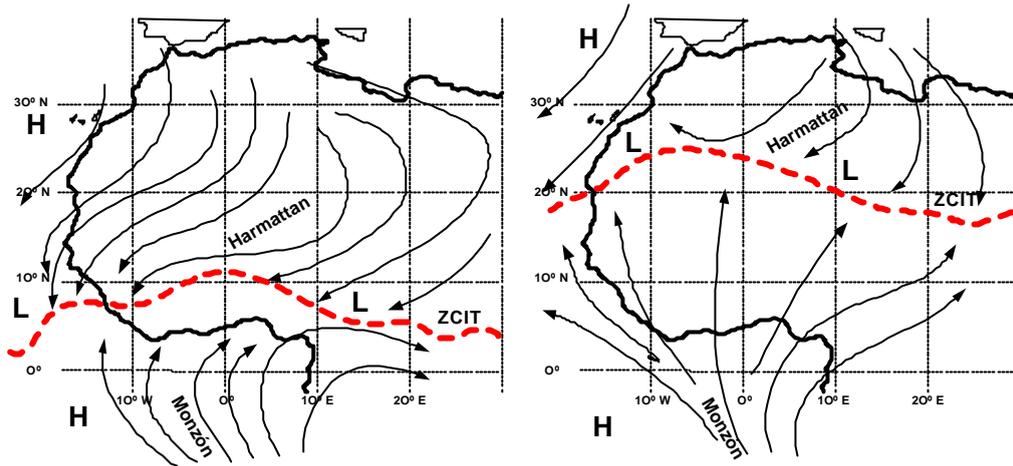


Fig 3. Variación estacional de la ZCIT. A la izquierda, la posición en Enero, a la derecha la posición en Agosto.

Sobre la cantidad total de polvo producida anualmente existe una gran incertidumbre. Estimaciones realizadas por Swap et al. (1996) describen esta producción en el rango de 400-700 Tm/año, sin embargo, otros autores (D'Almeida, 1986), elevan esta cantidad hasta 1000 Tm/año.

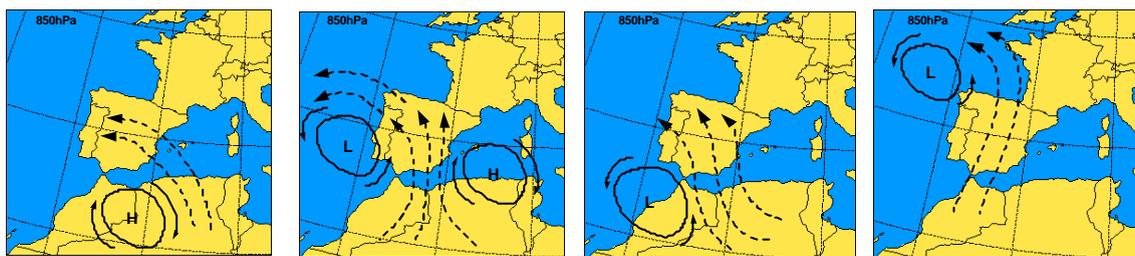


Fig 4. Situaciones sinópticas típicas productoras de eventos de intrusiones sahariana-sahelianas. En línea discontinua, trayecto de las masas de aire. De izquierda a derecha: anticiclón sobre el Norte de África, Anticiclón sobre el Norte de África, y bajas presiones sobre el sudoeste portugués; baja presión sobre el sudoeste de Portugal; baja presión en el Atlántico. Topografías a nivel de 850hPa.

### 3. LOS DATOS

#### 3.1. El área de estudio

La Comunidad Autónoma de La Rioja, se encuentra situada en el Valle medio del Ebro, delimitada por las montañas del Sistema Ibérico en el Sur, que la separan de las provincias de Soria y Burgos, y los Montes Obarenes y la Sierra de Cantabria al Norte, haciendo el río Ebro de frontera con Álava y Navarra. La Rioja es una de las regiones más pequeñas de España, con poco más de 5.000 Km<sup>2</sup> de superficie, y una población de 263.644 habitantes, de los que más de la mitad viven en la capital, Logroño.

La mayoría de la población se concentran en los pueblos y ciudades de las comarcas situadas en el Valle del Ebro o en sus proximidades: Logroño, Rioja Alta y Rioja Baja; mientras que las comarcas de la Sierra están más despobladas.

La temperatura media en Logroño es de 13,5°C, siendo Enero el mes más frío, con una temperatura media de las mínimas diarias de 2,0°C, y Julio el mes más cálido, con una temperatura media de las máximas diarias de 29,3°C. Desde el punto de vista pluviométrico, la precipitación media anual ronda los 400mm, repartiéndose en un promedio de 106 días al año, siendo el mes con mayor precipitación Mayo, mientras que el mas seco es Julio. Desde el punto de vista de la clasificación de Papadakis,

Logroño presenta un verano *Arroz*, y un invierno *Avena fresco*. El régimen térmico junto con el régimen de humedad da lugar a un tipo climático *Mediterráneo continental-templado*.

El terreno que rodea la ciudad está cubierto mayoritariamente por cultivos, ya sea de secano o de regadío, mientras que la vegetación natural ha quedado relegada a las riberas del Ebro y a las zonas de fuerte pendiente, donde no es posible la implantación de cultivos. Los cultivos de secano son, fundamentalmente cerela, guisante y alfalfa, que forman frecuentes mosaicos con viñas, olivos y frutales. Los viñedos se encuentran muy repartidos por todo el secano de la zona, existiendo pequeñas parcelas dentro de las zonas de regadío. En cuanto a los cultivos de regadío destacan tres tipos de cultivos: cultivos herbáceos, huertas y frutales que aparecen formando mosaicos, en algunas ocasiones de gran extensión superficial.

Los sistemas orográficos que bordean la cuenca del Ebro actúan de pantalla frente a los vientos, aislándola de los vientos, nubes y lluvias. Los Pirineos frenan los temporales asociados a los vientos del N, Las sierras vasco-navarras se oponen a los flujos del NW, y las montañas del Sistema Ibérico interceptan los W y SW.

Sólo por la puerta abierta del delta suben aguas arriba los vientos templados y húmedos del SE que traen lluvias, estancando, luego, las nubes contra la ladera de las montañas de La Rioja alavesa. Así, sólo existen dos direcciones principales, la de los vientos del NW, fríos y secos, que soplan agua abajo del río, y los vientos del SE, cálidos y húmedos, que soplan aguas arriba.

El popular “Cierzo” es frío, racheado y seco. Por el contrario, los vientos húmedos del NW, procedentes del Cantábrico, dejan estancadas en la zona alta del río abundante nubosidad que ocasionan lluvias, bajando luego reseco y recalentados, por efecto foëhn, al valle del Ebro. La situación que determina el “Cierzo” en los mapas sinópticos del tiempo se corresponde con altas presiones sobre las Islas Británicas y el Golfo de Vizcaya, mientras que aparecen bajas presiones en las Islas Baleares y Golfo de León. Así, el viento del NW sopla de las altas hacia las bajas presiones, actuando el Valle del Ebro como canal de conducción.

Los vientos del SE, templados y húmedos acompañan a los sistemas nubosos y temporales de lluvia, que después de penetrar por la zona del delta, avanzan aguas arriba, para quedar estancadas contra la cara meridional de las sierras de Aralar y Andía, saltando luego, reseco y recalentados hacia el País Vasco.



**Fig 5.** Los vientos SE son húmedos y llovedores, mientras que los de NW (el “Cierzo”), son terrales y secos.

### 3.2. Las medidas

La Red de Medición de la Calidad del Aire de La Rioja está constituida por la estación de medida de la calle “La Cigüeña” en Logroño, que representa el estado de la atmósfera en una zona urbana. A la Red hay que añadirle desde Febrero de 2003, la estación de control ubicada en Alfaro, con motivo de la vigilancia de las posibles influencia en la calidad del aire de La Rioja Baja, de las CTCC situadas en la Ribera Navarra, y la futura central de 800 Mw a situar en Arrúbal.

Además, hasta el 2001, Logroño contaba con una estación perteneciente a la red EMEP (fondo nacional), que fue trasladada de ubicación al no reunir los requisitos exigidos a este tipo de estaciones de lejanía de los focos emisores, debido a su proximidad a la ciudad de Logroño y a la influencia de la autopista A-68.

La estación de “La Cigüeña”, –con el código nacional 26089001-, situada junto al Campus Universitario de Logroño y clasificada como estación de fondo urbano. (X:547150, Y:4701649).

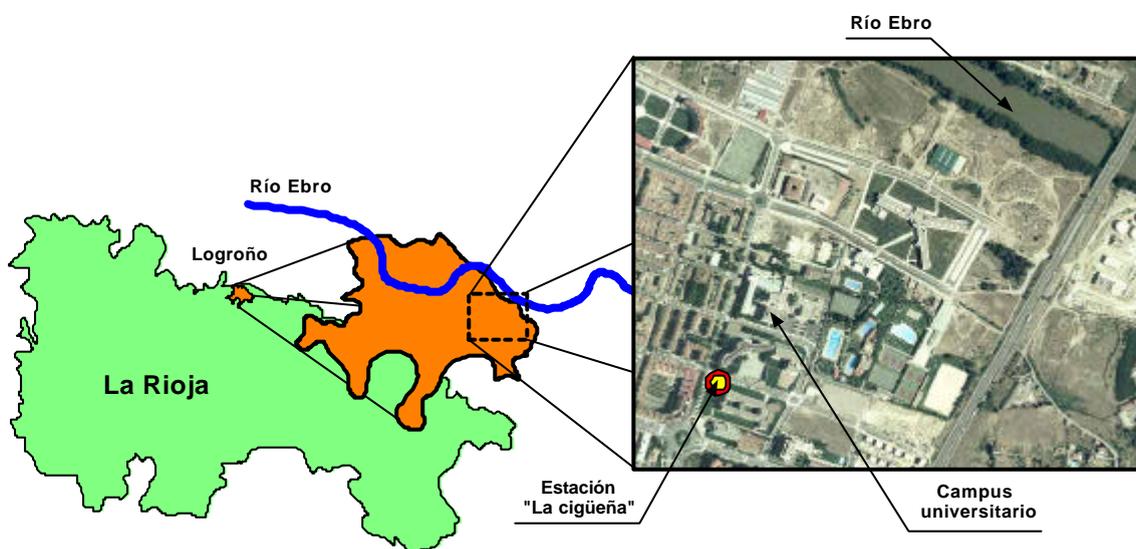


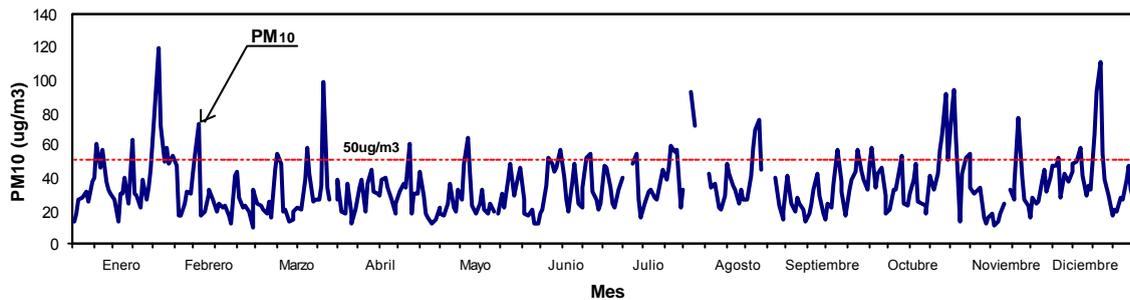
Fig 6. Área de estudio.

Esta estación, junto con la recientemente instalada -Febrero 2003- en la población de Alfaro para controlar las inmisiones de las CTCC instaladas en Navarra, así como la que próximamente se instalará en Arrúbal, forma la red de estaciones de control de la contaminación de esta Comunidad, dependiente de la Consejería de Medio Ambiente de la CAR. Sin embargo, una vez se produzca la instalación, puesta en marcha de la red de vigilancia de la contaminación con el fin de controlar las emisiones de la futura CTCC de Arrúbal, esta se integrará en la red de vigilancia de esta central, y su promotor, Gas Natural, se hará cargo de su mantenimiento



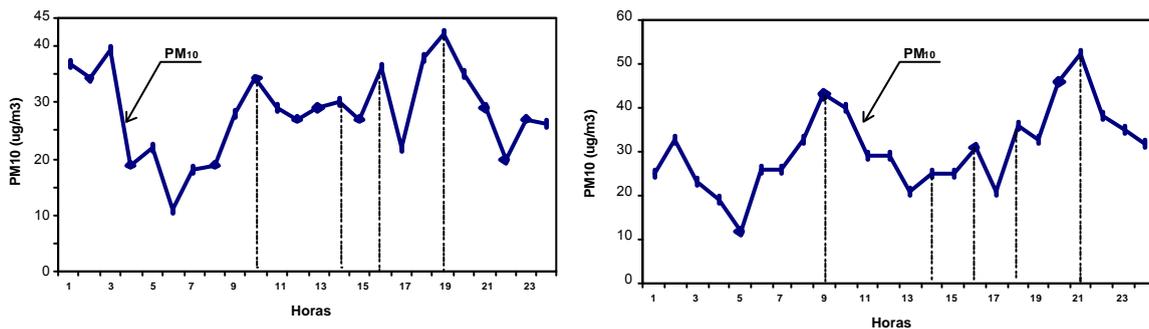
**Fig 7.** Estación de vigilancia de la contaminación del Campus Universitario de Logroño. La estación dispone de medidores de SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO, Tolueno, Xileno, y Benceno, además de un pluviómetro. Al fondo, en color blanco, el edificio del Rectorado de la UR.

Los datos son facilitados por la Consejería de Medio Ambiente en formato horario y de medias de 24 horas.



**Fig 8.** Comportamiento anual de PM<sub>10</sub>. Medias diarias.

Como puede apreciarse en la Fig. 8, el comportamiento anual no tiene un carácter estacional marcado.



**Fig 9.** Comportamiento típico diario. A la izquierda día de verano, a la derecha día de invierno.

El comportamiento diarios de los datos queda reflejado en la Fig. 9, donde se aprecia que no existe una acusada diferencia entre el verano y el invierno. En ambos casos existe un pico en torno a las 9:00h, ocasionado por el aumento del tráfico en la zona, mientras que el espesor de la capa de mezcla se mantiene reducido. A medida que avanza la mañana, esta capa de mezcla aumenta su espesor, reduciendo con ello los niveles de contaminante, hasta el atardecer donde la reducción de la capa de mezcla vuelve a imponer altos niveles de contaminación. Se aprecian también picos

coincidentes con los momentos de mayor tráfico en la zona, que se corresponden con las horas de entrada y salida al campus de Logroño.

### 3.3 Tratamiento de los datos

Partiendo de los datos obtenidos en la estación de vigilancia, el primer paso consiste en comprobar el grado de cumplimiento de los valores límite de  $PM_{10}$ , para posteriormente, y para cada una de estas superaciones del umbral, mes a mes se han ido interpretando el posible origen antropogénico y natural, basándose para ello en la correlación de los niveles de  $PM_{10}$  con un contaminante antropogénico conocido como es el  $NO_2$ , en las interpretaciones meteorológicas -tanto a nivel de superficie como en altura, siendo especialmente útiles las topografías de 700 y 850hPa-, y en evaluaciones de los mapas proporcionados por diferentes modelos matemáticos y satélites. Entre estos modelos destacan los mapas de índices de absorción de radiación UV de aerosoles de la NASA (TOMS, Herman et al., 1997). Sin embargo, cuando en invierno se producen las intrusiones a nivel de superficie en áreas próximas al Sáhara o al Sahel, las medidas del TOMS del índice de aerosoles no detectan la nube de polvo si esta se encuentra a menos de 1km de altura. Por otro lado, este índice de absorción representa la integración vertical de la carga de polvo, por lo que pudiera darse el caso contrario: que cargas de polvo que no son observadas en la superficie, sean detectadas por el TOMS. Para evitar esto, se estudian junto con el TOMS, las simulaciones del modelo SKIRON (Kallos et al., 1997) y los mapas de espesor óptico de aerosoles y de polvo en superficie de la *Meteorology Division* del *Naval Research Laboratory*, USA, (NAAPS, *Navy Aerosol Analysis and Prediction System*, y DREAM, *Dust Regional Atmospheric Model*), así como las imágenes del satélite SeaWIFS de la NASA (McClain et al., 1998).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Superaciones de los valores límite

Como se puede apreciar en la Fig.10, el número de superaciones del valor máximo de  $PM_{10}$  en los seis meses estudiados, es considerable, habiéndose contabilizado un total de 27 días, en los que la concentración media de 24 horas superó el nivel máximo permitido.

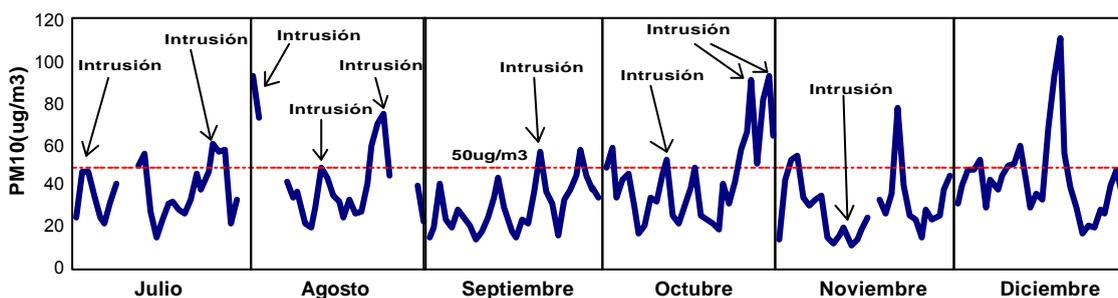


Fig 10. Superación del valor límite diario ( $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de  $PM_{10}$  en Logroño en los seis últimos meses del año 2001.

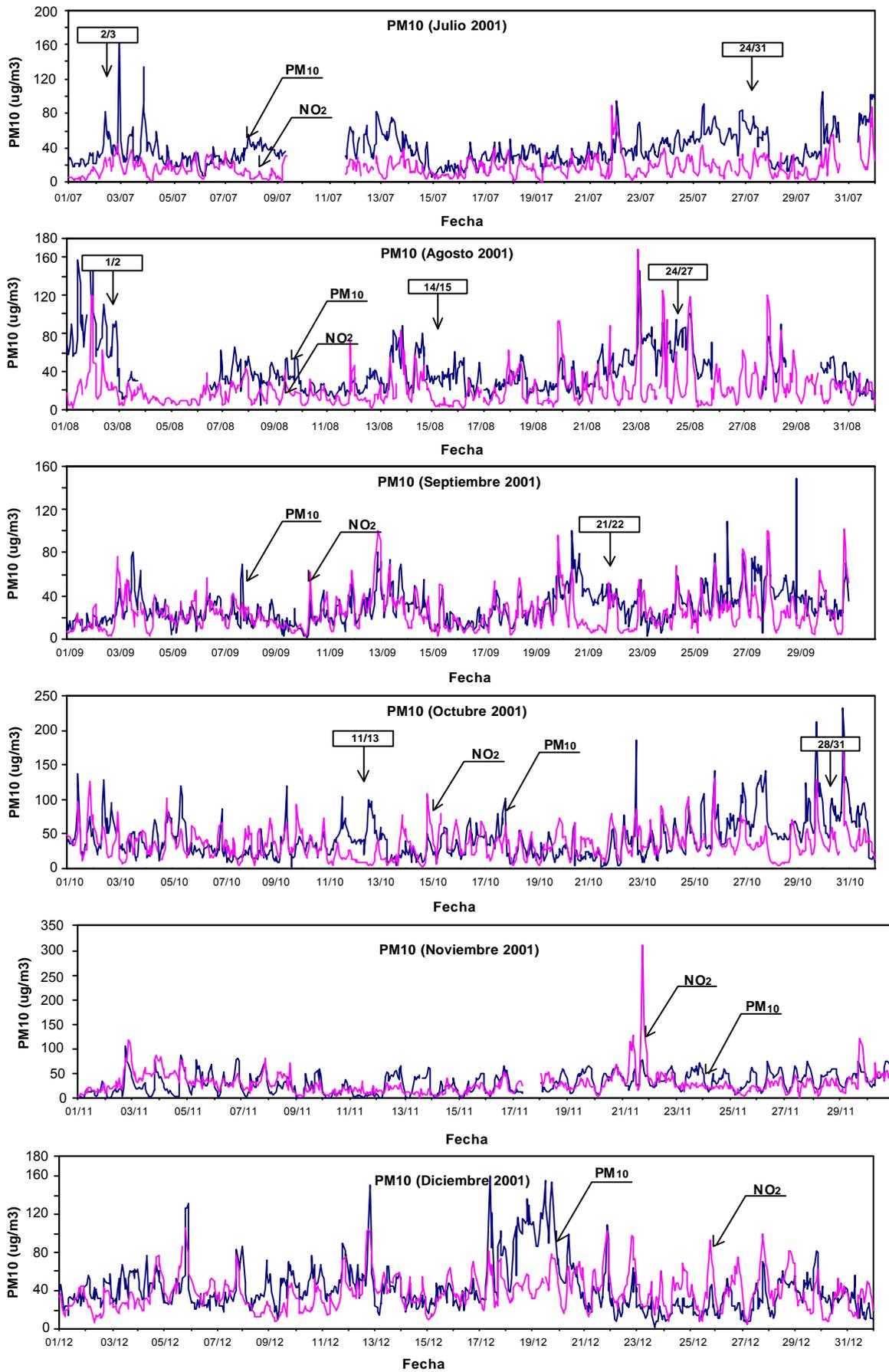
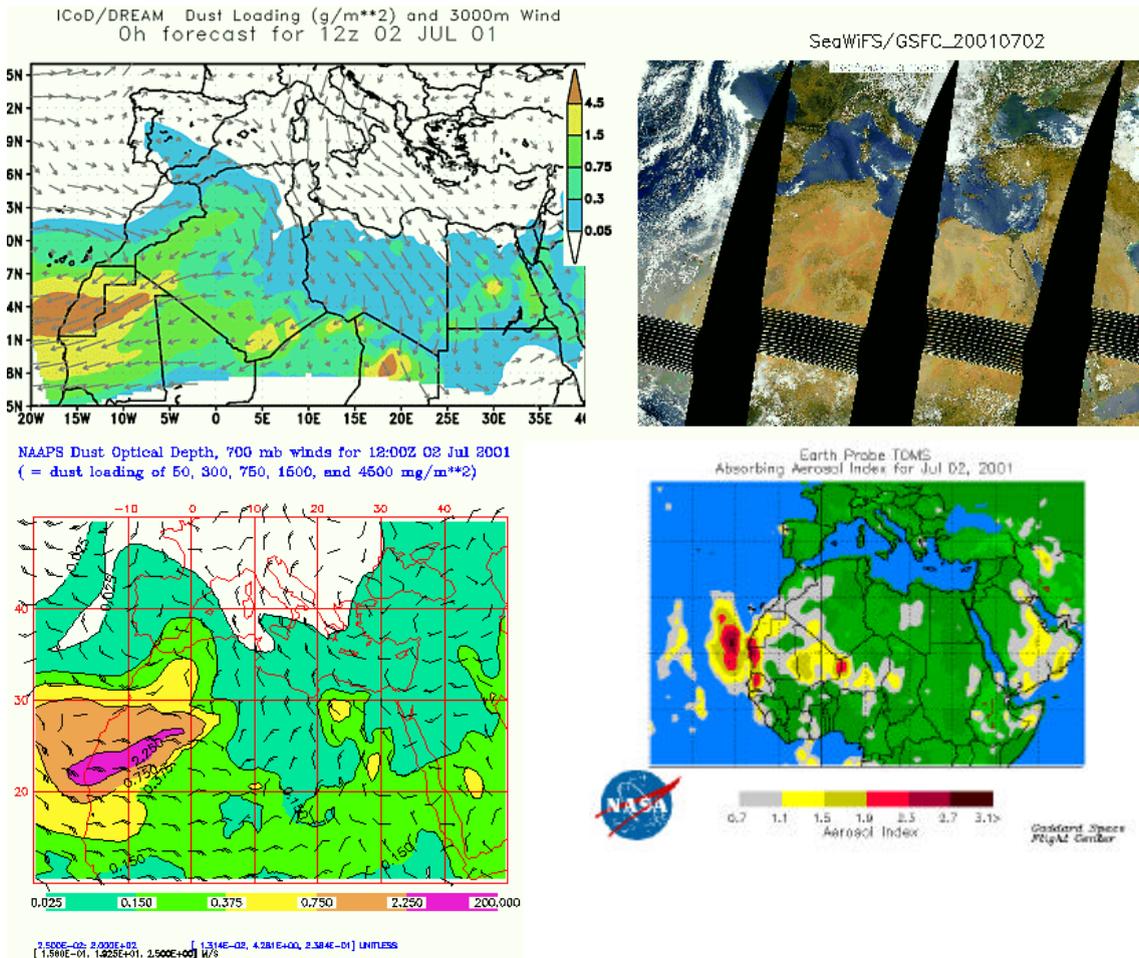


Fig 11. Comportamiento horario de la concentración de PM<sub>10</sub>.

## 2.1. 1-3 de Julio

Intrusión sahariana que aunque presentó un nivel horario máximo de  $177 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ , no logró superar el límite para 24h, alcanzándose un máximo de  $47,2 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$  el día 2. El hecho de que el índice TOMS no muestre esta intrusión indica que esta se produjo en las capas más bajas de la atmósfera. Por el contrario, las imágenes NAAPS sí la muestran, pudiéndose ver también como una pluma poco definida sobre la Península en la imagen del SeaWIFS.

La situación sinóptica que provoca esta intrusión es un anticiclón situado sobre el Norte de África, que es visible interpretando la circulación del viento en altura, en el nivel de 700 hPa, en el mapa ICoD/DREAM.



**Fig 12.** De izquierda a derecha y de arriba abajo: mapa ICoD/DREAM, imagen SeaWIFS, mapa NAAPS, e índice de aerosoles TOMS, para el 2 de Julio.

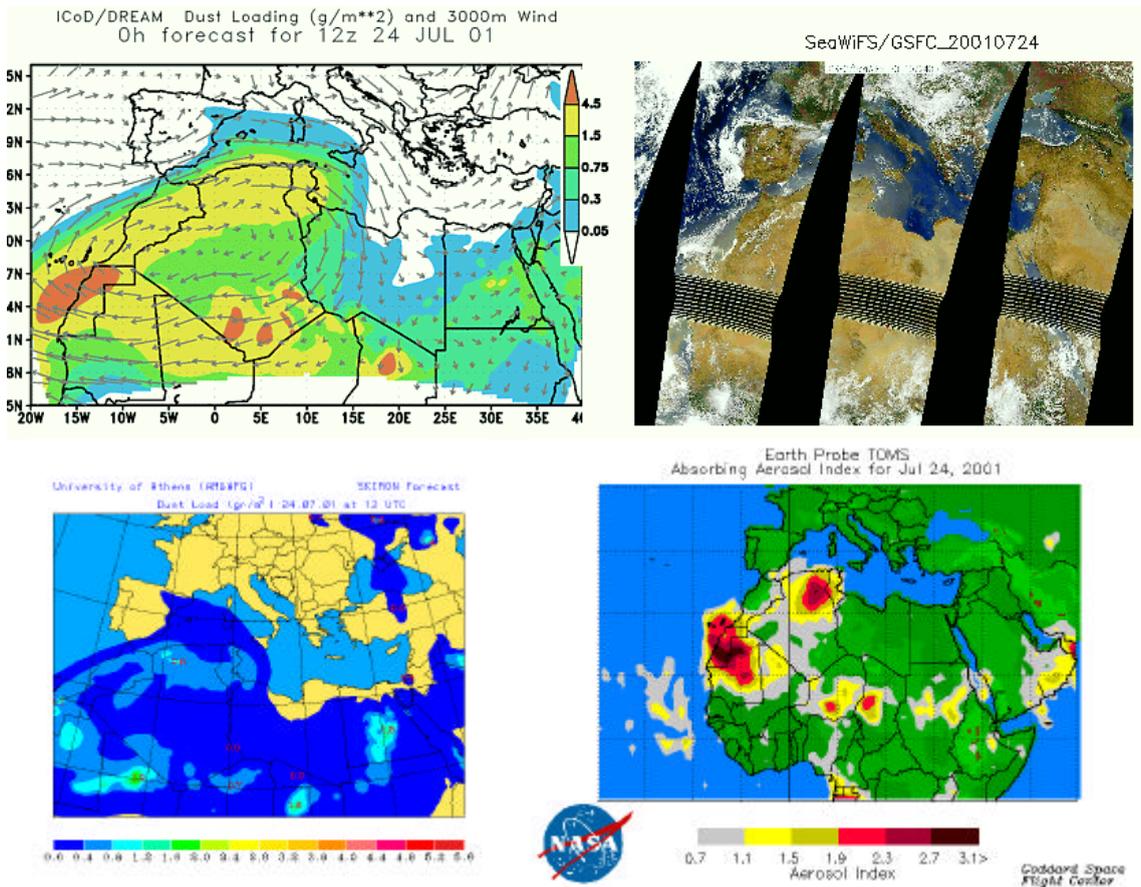
## 2.2. 22-28 de Julio

Intrusión provocada por la presencia de una alta presión en altura sobre el centro de Argelia, que da lugar a un movimiento anticiclónico de la masa de aire hacia la Península. Este movimiento del aire es identificable en el mapa del ICoD/DREAM.

Se alcanza un nivel horario máximo de  $94 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$  el día 22 a las 2 de la madrugada, produciéndose tres superaciones (días 25, 26 y 27) del límite legal del promedio de 24 horas.

Esta intrusión alcanza la ciudad de Logroño tras ascender por la cuenca del Ebro, lo que se aprecia de una forma muy clara tanto en el mapa del ICoD/DREAM, como en el del SKIRON.

La pluma de material particulado es muy claramente visible en la fotografía del satélite SeaWIFS sobre el Norte de Argelia y Túnez. Por el contrario, el mapa de índice de aerosoles TOMS no detecta la intrusión indicando con ello, que esta no debió afectar a las capas más altas de la atmósfera

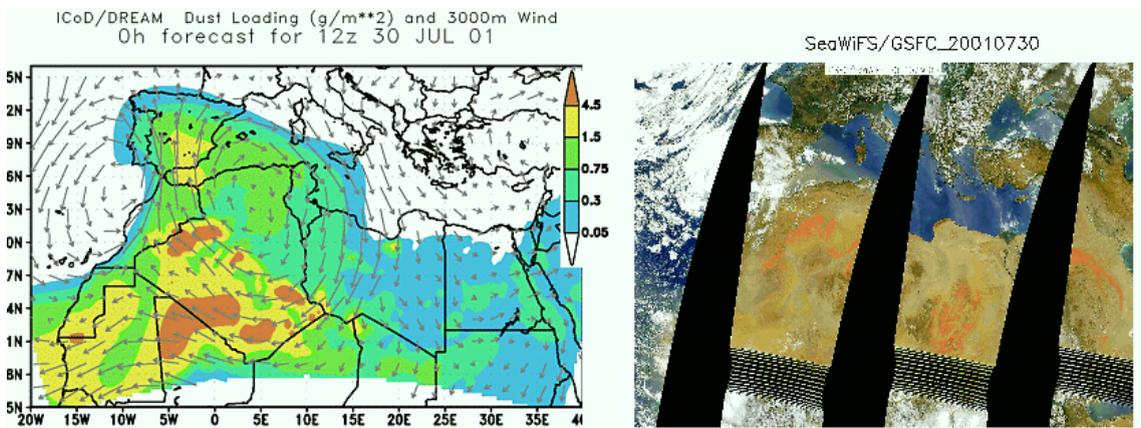


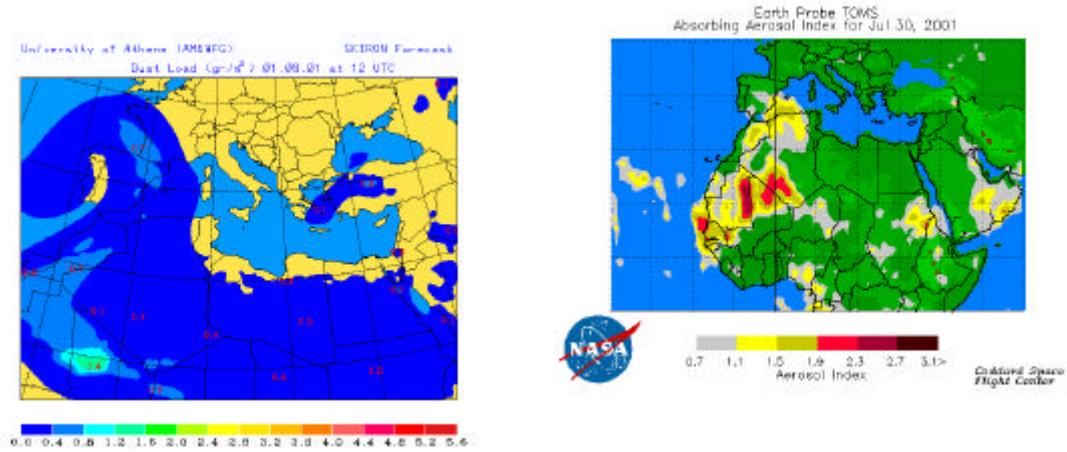
**Fig 13.** De izquierda a derecha y de arriba abajo: mapa ICoD/DREAM, imagen SeaWiFS, mapa NAAPS, e índice de aerosoles TOMS, para el 24 de Julio.

### 2.3. 29 de Julio – 2 de Agosto

Puede considerarse como una continuación de la anterior intrusión. Sin embargo se estudia de forma individualizada debido a que la situación sinóptica que provoca este evento difiere de la anterior. En este caso, el ICoD/DREAM muestra la circulación anticiclónica en altura de las masas de aire sobre el Norte de África, y el centro de bajas presiones situado en el Sudoeste de Portugal. La imagen del satélite SeaWiFS muestra la pluma de material sobre la Península.

El máximo nivel horario de  $PM_{10}$  se alcanza el día 1 a las 11 de la mañana, con  $157 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que la media diaria llega a alcanzar los  $92,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el día 1 de Agosto, produciéndose 2 superaciones del límite legal de 24 horas, ambas en el mes de Agosto.



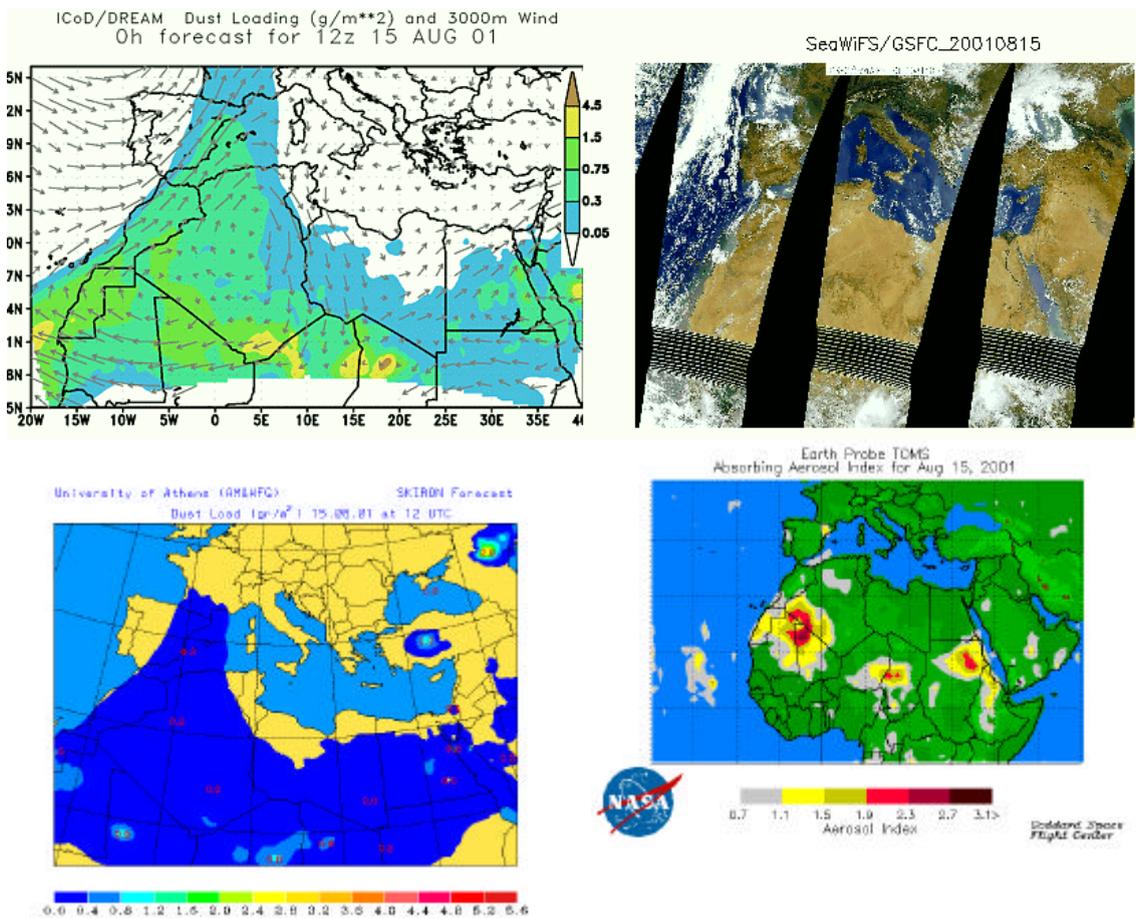


**Fig 14.** De izquierda a derecha y de arriba abajo: mapa ICoD/DREAM, imagen SeaWIFS, mapa NAAPS, e índice de aerosoles TOMS, para el 30 de Julio.

#### 2.4. 14-15 de Agosto

Evento producido por la presencia de un anticiclón situado sobre Argelia, el cual es identificable en el mapa del ICoD/DREAM.

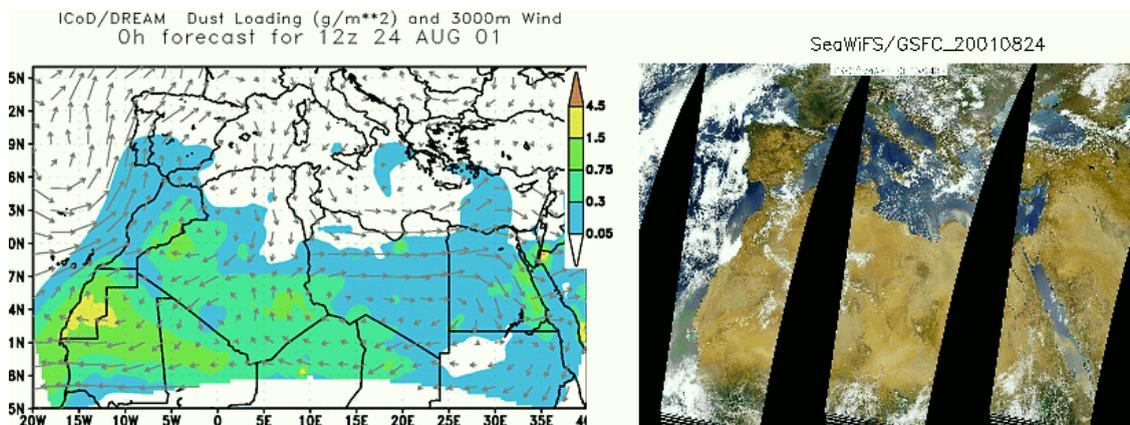
El nivel máximo horario alcanzado fue de  $88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , el día 13 a las 21:00, mientras que el máximo nivel diario fue de  $43,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , no produciéndose en este intervalo ninguna superación del límite legal.



**Fig 15.** De izquierda a derecha y de arriba abajo: mapa ICoD/DREAM, imagen SeaWIFS, mapa NAAPS, e índice de aerosoles TOMS, para el 15 de Agosto.

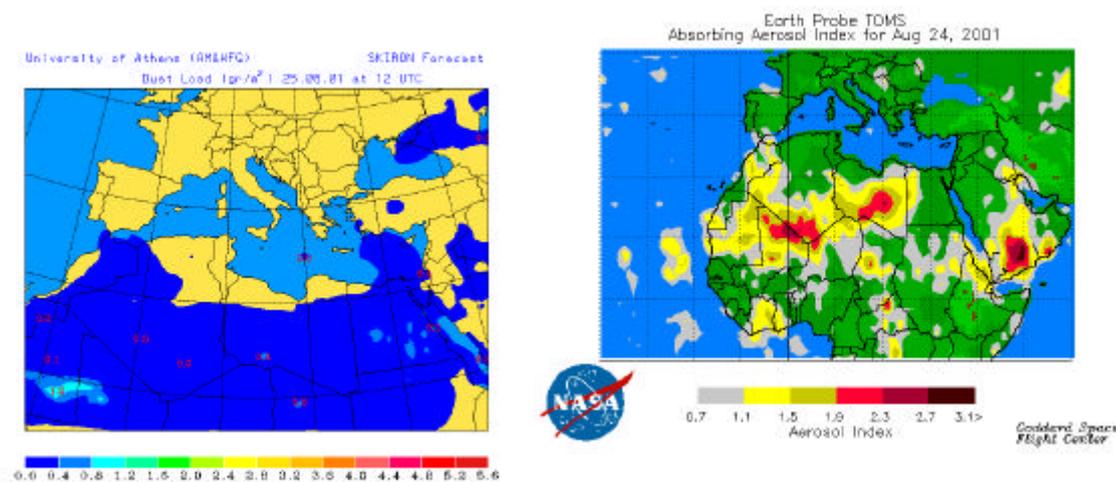
## 2.5. 22-26 de Agosto

Curiosa intrusión, que aunque según todos los mapas no llega más allá del tercio sur peninsular, provoca elevadas concentraciones de material particulado en el tercio Norte de la Península, tal como reflejan las series de la estación de Logroño, y las de la estación de Llodio en el País Vasco (CSIC-MMA, 2002a).



**Fig 16.** De izquierda a derecha y de arriba abajo: mapa IcoD/DREAM, imagen SeaWIFS, mapa NAAPS, e índice de aerosoles TOMS, para el 2 de Julio.

Se producen tres superaciones (días 23,24 y 25) del límite legal de 24 horas, siendo la máxima de estas, de  $75,1 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ . El nivel máximo horario medido por la estación fue de  $147 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ , detectado el día 22 a las 23:00 horas.

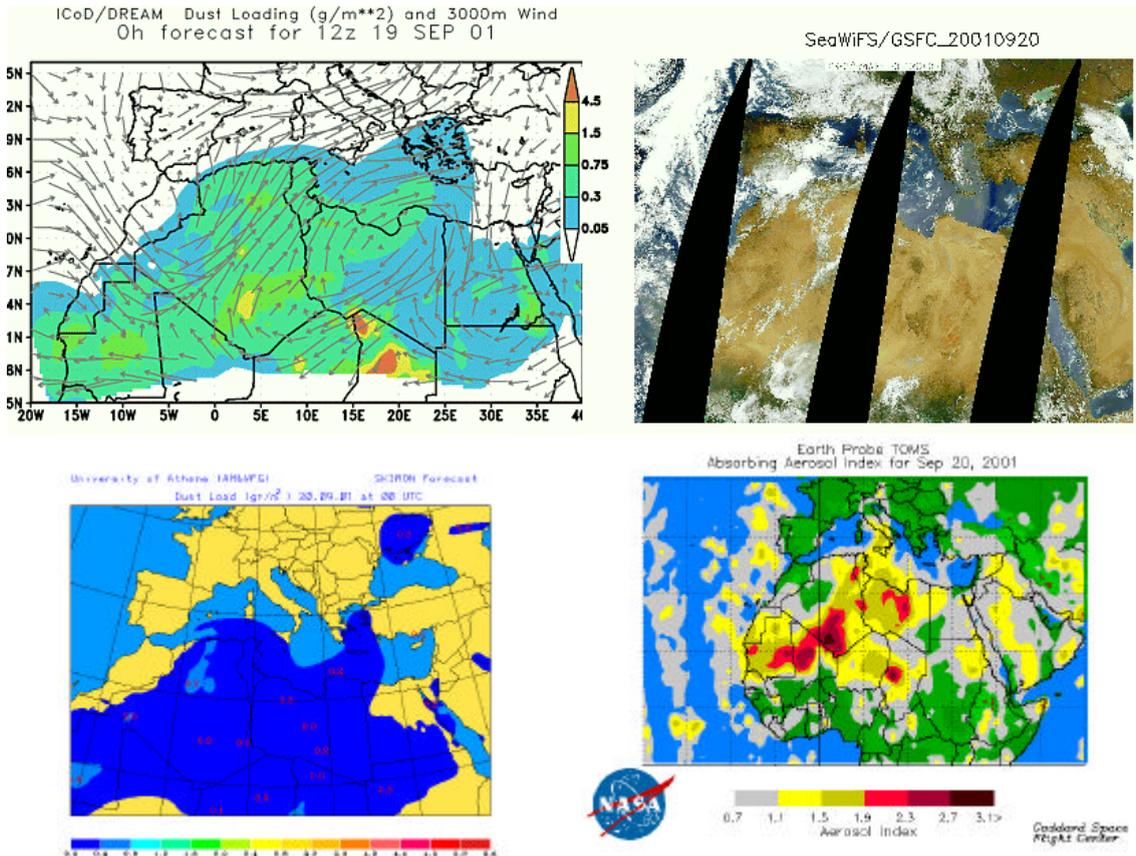


**Fig 17.** De izquierda a derecha y de arriba abajo: mapa IcoD/DREAM, imagen SeaWIFS, mapa NAAPS, e índice de aerosoles TOMS, para el 2 de Julio.

## 2.6. 20-22 de Septiembre

El origen de esta intrusión se encuentra en el Sáhara, y fue provocado por un centro de bajas presiones junto a la costa portuguesa. La concentración horaria máxima alcanzó los  $101 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ , el día 20 a las 9 de la mañana, mientras que la máxima media de 24 horas fue de  $56,7 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ , siendo esta, ocurrida el día 20, la única superación registrada en este evento.

Es de destacar, que los mapas del SKIRON no muestran claramente la intrusión



**Fig 18.** De izquierda a derecha y de arriba abajo: mapa ICoD/DREAM, imagen SeaWiFS, mapa NAAPS, e índice de aerosoles TOMS, para el 20 de Septiembre.

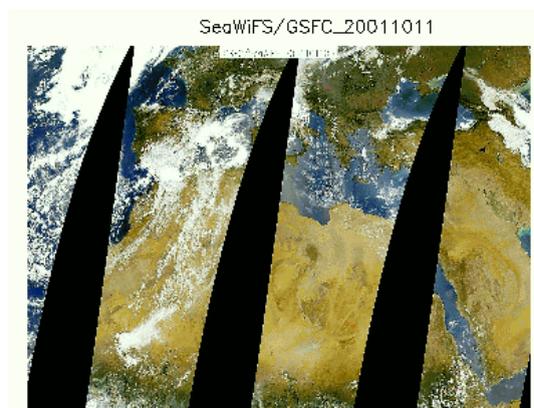
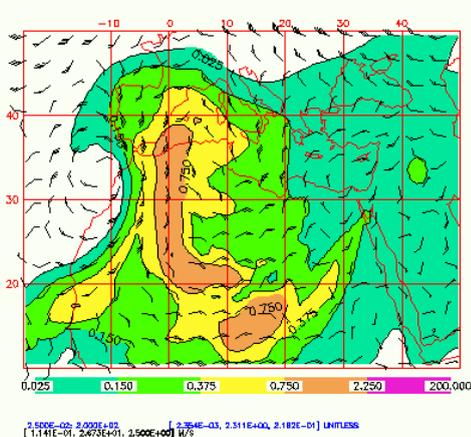
## 2.7. 11-13 de Octubre

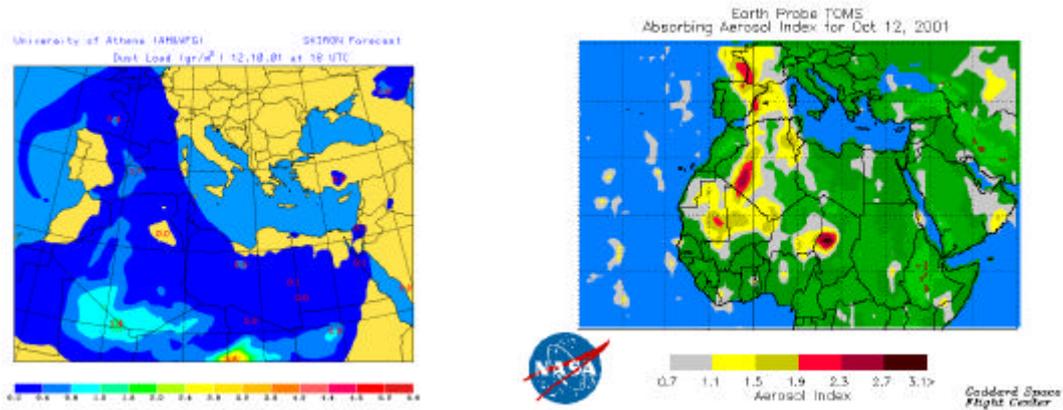
Intrusión provocada por un centro de bajas presiones situado en el Sudoeste de la Península, que posteriormente se desplazó hacia el Oeste de Portugal, provocando una advección de masas de aire cargadas de partículas hacia la Península.

Tanto los mapas TOMS, NAAPS y SKIRON muestran esta intrusión, y su aspecto en forma de gancho debido a la circulación ciclónica que la provoca.

El máximo valor horario registrado fue de  $105 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ , el día 11 a las 13:00 horas, mientras que el valor diario máximo fue de  $53,4 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$  el día 12, siendo esta la única ocasión en que se superó el límite legal de  $50 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

NAAPS Dust Optical Depth, 700 mb winds for 12:00Z 11 Oct 2001  
( = dust loading of 60, 300, 750, 1500, and 4500  $\text{mg}/\text{m}^2$ )



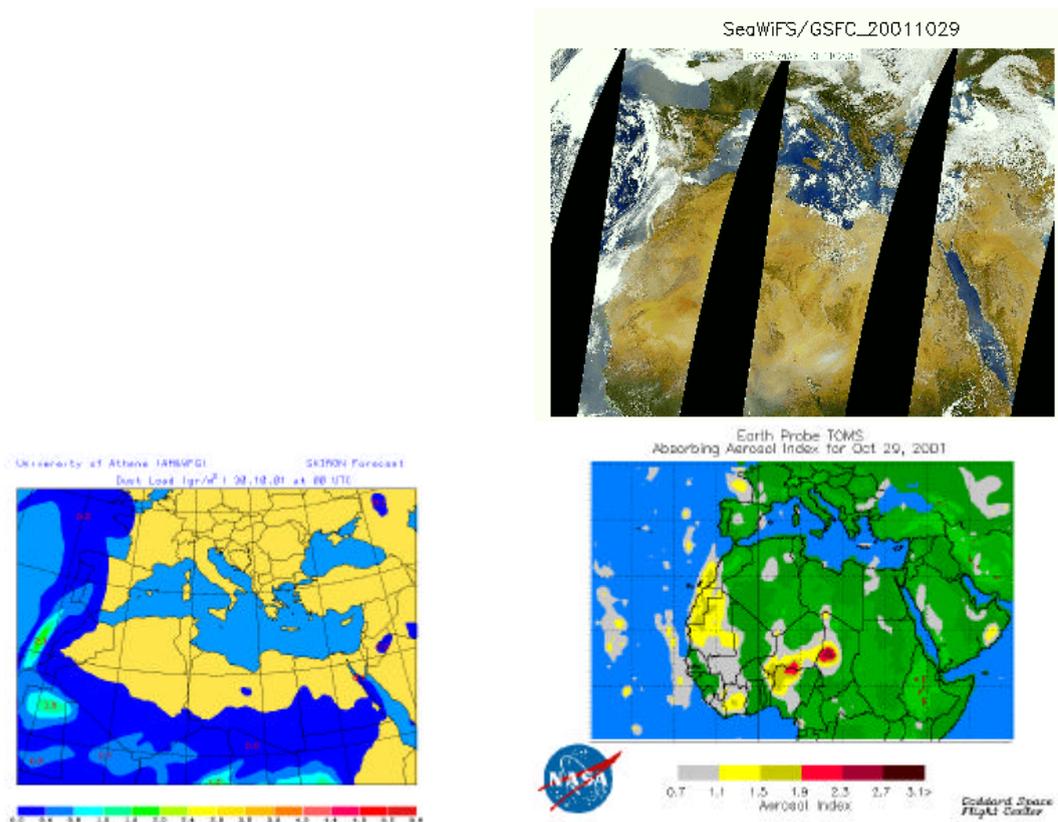


**Fig 19.** De izquierda a derecha y de arriba abajo: mapa IcoD/DREAM, imagen SeaWIFS, mapa NAAPS, e índice de aerosoles TOMS, para el 12 de Octubre.

2.8. 28-31 de Octubre

Intrusión sahariana de gran concentración de material, que provocó la superación del límite legal de  $PM_{10}$  en Logroño durante los cuatro días que duró, siendo el valor máximo de 24 horas de  $93,7 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y registrando dos importantes picos horarios: uno el día 30 a las 19.00 horas, de  $233 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y otro el día 29 a las 19:00 horas, de  $214 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

El evento fue ocasionado por la presencia de un anticiclón sobre el Norte de África



**Fig 20.** De izquierda a derecha y de arriba abajo: mapa IcoD/DREAM, imagen SeaWIFS, mapa NAAPS, e índice de aerosoles TOMS, para el 29 de Julio.

Puede observarse en el mapa de índices TOMS, como la fuente productora de material se sitúa ahora claramente en el Sahel, y no en el Sáhara como venía siendo habitual hasta este momento, aunque esta modificación en la situación de las fuentes, ya se podía

apreciar, en una etapa inicial de transición, en la intrusión ocurrida entre los días 11 y 13 de Octubre.

Fecha	Duración (días)	Superaciones límite 24h.	Concentración máx. 1h.	Fecha/Hora	Situación sinóptica
1-3 Julio	2	-	177 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	02/23:00	H(NAF)
22-28 Julio	7	3	94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	22/02:00	H(NAF)
29 Julio -2 Agosto	5	2	157 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	01/11:00	L(POR)+H(NAF)
14-15 Agosto	2	-	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	14/15:00	H(NAF)
22-25 Agosto	4	3	147 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	22/23:00	H(NAF)
20-22 Septiembre	3	1	101 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20/09:00	L(POR)
11-13 Octubre	3	1	105 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	11/13:00	L(POR)
28-31 Octubre	4	4	233 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	30/19:00	L(POR)

**Tabla 1.** Resumen de las intrusiones de polvo sahariano identificadas en Logroño. H(NAF), alta presión sobre el Norte de África; L(POR), baja presión sobre Portugal.

## 5. CONCLUSIONES

En este artículo se ha tratado de poner de manifiesto la influencia que las intrusiones de polvo sahariano tienen sobre la calidad del aire de la ciudad de Logroño. El número de superaciones del límite legal para un promedio de 24h. ocurridas a lo largo de los seis meses de estudio fueron de 27, pudiendo ser achacadas a las intrusiones saharianas sin ningún tipo de duda, un total de 14, lo que representa un 51,8% sobre el total de los seis meses estudiados.

Este elevado porcentaje de superaciones –sólo las superaciones causadas por intrusiones africanas en los últimos seis meses del año duplica el número permitido para todo el año- implica una seria dificultad en el cumplimiento de objetivo de calidad ambiental para el material particulado  $\text{PM}_{10}$  ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  como media diaria, no pudiéndose superar más de 7 ocasiones a lo largo de un año). Esto es más grave si cabe, si se tiene en cuenta que dos de estas intrusiones (12-13 y 16-17 de Noviembre) fueron “abortadas” por las precipitaciones caídas (5,3mm el día 13, y 5,7mm el día 16) en esos días que propiciaron un lavado de la atmósfera, reduciendo sensiblemente los niveles de  $\text{PM}_{10}$ .

En previsión de estos incrementos debidos a aportes naturales, la legislación deja abierta la puerta a que estos eventos naturales puedan ser justificados mediante estudios como el aquí realizado. Así, la legislación española, en su Anexo XIII, apartado 7, indica que cuando se superen los valores límite debido a fenómenos naturales, dentro de los cuatro meses siguientes al final de cada año, se facilitará la justificación necesaria para demostrar que dichas superaciones se deben a fuentes naturales.

Por otro lado, y como ya han destacado otros investigadores (CSIC-MMA, 2002b), sería de gran interés la instalación de captadores de partículas  $\text{PM}_{2,5}$ , ya que debido a este aporte natural, mientras que el parámetro  $\text{PM}_{10}$  es representativo de las emisiones antropogénicas para países de centro-europa, no lo es tanto para los países mediterráneos, que deben enfrentarse a estos aportes naturales. Dichos aportes podrían ser discriminados de los antropogénicos contando con ambos captadores.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Dirección General de Calidad Ambiental, dependiente de la Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad

Autónoma de La Rioja, por proporcionar los datos necesarios para elaborar este artículo, así como al *NASA/Goddard Space Flight Center* (Maryland, USA) y al *Atmospheric Modelling and Weather Forecasting Group* (Universidad de Atenas), al *Marine Meteorology División, Naval Research Laboratory* (Monterrey, USA), y al *SeaWIFS Project* (NASA) por la valiosa información suministrada a través de los mapas TOMS, SKIRON, NAAPS y las imágenes de satélite respectivamente.

## REFERENCIAS

- Artiñano, B., Querol, X., Salvador, P., Rodríguez, S., Alastuey, A., 2001. Assessment of airborne particulate matter in Spain in response to the new EU-directive. *Atmospheric Environment* 35, 1001, S43-S53.
- Bergametti, G., Dutot, A.L., Buat-Menard, P., Losno, R., Remoudaki, E., 1989. Seasonal variability of the elemental composition of atmospheric aerosol particles over the northwestern Mediterranean. *Tellus*, 41B, 353-361.
- Brooks, N. Dust-climate interactions in the Sahel-Sahara zone of northern Africa, with particular reference to late twentieth century sahelian drought. Ph.D. Thesis, University of East Anglia. 1999.
- CSIC-Ministerio de Medio Ambiente, 2002a. Estudio y evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado en España. Niveles y composición de PM10 y PM2,5 en España. Secretaría General del Medio Ambiente. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. Octubre 2002.
- CSIC-Ministerio de Medio Ambiente, 2002b. Interpretación de series temporales (1996-2000) de niveles de partículas en suspensión en España. Secretaría General del Medio Ambiente. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. Marzo 2002.
- D'almeida, G.A., 1986. A model for Saharan dust transport. *Journal of climate and Applied Meteorology*, 25, pp 903-916.
- Herman, J.R., Bhartia, P.K., Torres, O., Hsu, N.C., Seftor, C.J., Celarier, E., 1997. Global distribution of UV-absorbing aerosols from Nimbus-7/TOMS data. *Journal of Geophysical Research*, 102, 16911-16923.
- Kallos, G., Kotroni, V., Lagouvardos, K., 1997. The regional weather forecasting system SKIRON: an overview. Symposium on Regional Weather Prediction on Parallel Computer Environments. University of Athens, Greece, 109-122.
- Lenschow, P., Abraham, H.-J., Kutzner, K., Lutz, M., Preuà, J.-D., Reichenbacher, W., 2001. Some ideas about the sources of PM10. *Atmospheric Environment* 35, Supplement No 1, S23-S33.
- León Llamazares, A. 1990. Caracterización agroclimática de La Rioja. 2ª edición. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Dirección General de la Producción Agraria.
- McClain, C.R., Cleave, M.L., Feldman, G.C., Gregg, W.W., Hooker, S.B., Kuring, N., 1998. Science quality SeaWIFS data for global biosphere research. *Sea Technology*, 39, 9, 10-15.
- Pinker, R.T., Pandithurai, G., Holben, B.N., Dubovik, O., Aro, T.O., 2001. A dust outbreak in sub-Sahel west Africa. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 106, No. D19, 22,923-22,930.
- Querol, X., Alastuey, A., Puigercús, J.A., Mantilla, E., Miros, J.V., López-Soler, A., Plana, F., Artiñano, B., 1998a. Seasonal evolution of suspended particles around a large coal-fired power station: Particles levels and sources. *Atmospheric Environment* 32, 1963-1978.
- Querol, X., Alastuey, A., Puigercús, J.A., Mantilla, E., Ruiz, R. C., López-Soler, A., Plana, F., Juan, R., 1998b. Seasonal evolution of suspended particles around a large coal-fired power station: chemical characterization. *Atmospheric Environment* 32, 719-731.
- Querol, X., Alastuey, A., Rodríguez, S., Plana, F., Mantilla, E., Ruiz, C.R., 2001a. Monitoring of PM10 and PM2.5 around primary particulate anthropogenic emission sources. *Atmospheric Environment* 35, 845-858.
- Querol, X., Alastuey, A., Rodríguez, S., Plana, F., Ruiz, C.R., Cost, N., Massagué, G., Puig, O., 2001b. PM10 and PM2.5 source apportionment in the Barcelona metropolitan area, Catalonia, Spain. *Atmospheric Environment* 35, 6407-6419.
- Querol, X., Alastuey, A., de la Rosa, J., Sánchez de la Campa, A., Plana, F., Ruiz, C.R., 2002. Source apportionment analysis of atmospheric particulates in an industrialised urban site in southwestern Spain. *Atmospheric Environment* 36, 3113-3125.
- Rodríguez, S., Querol, X., Alastuey, A., Kallos, G., Kakaliagou, O., 2001. Saharan dust contributions to PM10 and TSP levels in Southern and Eastern Spain. *Atmospheric Environment* 35, 2433-2447
- Rodríguez, S., Querol, X., Alastuey, A., Mantilla, E., 2002. Origin of high summer PM10 and TSP

- concentrations at rural sites in Easter Spain. *Atmospheric Environment* 36, 3101-3212.
- Salcedo, R.L.R., Alvim Ferraz, M.C.M., Alves, C.A., Martins, F.G., 1999. Time-series analysis of air pollution data. *Atmospheric Environment* 33, 2361-2372.
- US-EPA, 1996. Air quality criteria for particulate matter. EPA/600/P-95/001F. US Environment Protection Agency, Washintong, DC.
- Viana, M., Querol, X., Alastuey, A., Gangoiti, G., Menéndez, M., 2003. PM levels in the Basque Country (Northern Spain): analysis of a 5-year data record and interpretation of seasonal variations. *Atmospheric Environment* 37, 2879-2891.
- Williams, M., Bruckmann, P., Guía para los estados miembros sobre medidas de PM10 e intercomparación con el método de referencia. Grupo de trabajo de la Comisión Europea sobre material particulado. 2001

## **CORRESPONDENCIA.**

Eliseo P. Vergara González  
e-mail: [eliseo.vergara@dim.unirioja.es](mailto:eliseo.vergara@dim.unirioja.es)  
Departamento de Ingeniería Mecánica  
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA  
Edificio Departamental  
C/ Luis de Ulloa 20, 26004 – Logroño, LA RIOJA