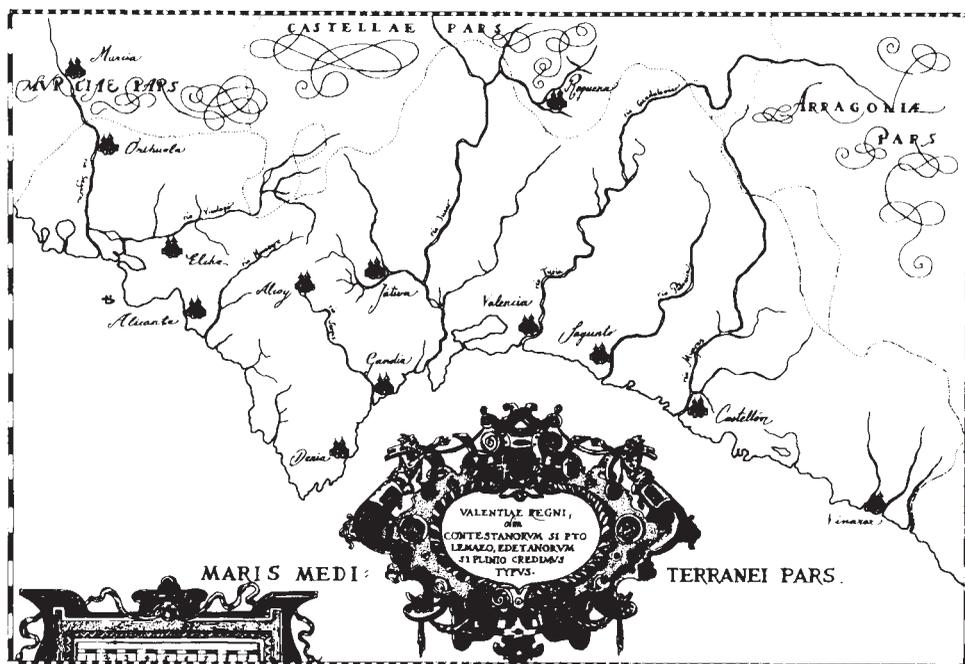


INVESTIGACIONES GEOGRÁFICAS

INSTITUTO UNIVERSITARIO DE GEOGRAFÍA
UNIVERSIDAD DE ALICANTE



ANALES DE LA UNIVERSIDAD DE ALICANTE
INSTITUTO UNIVERSITARIO DE GEOGRAFÍA
1994

12

LLUVIAS DE BARRO EN LA VERTIENTE MEDITERRÁNEA DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

José J. Quereda Sala
Jorge Olcina Cantos

RESUMEN

Las lluvias de barro son un fenómeno propio de las condiciones climáticas de la fachada mediterránea peninsular. Conocidas, tradicionalmente, como lluvias de fango o de sangre, su estudio ha cobrado renovada atención por la reiteración que están teniendo, en los últimos años, este tipo de precipitaciones. Pese a la dificultad de su estudio —ausencia de registro sistemático en los observatorios meteorológicos—, en el trabajo se detalla la elevada frecuencia anual que tiene el fenómeno en dicho ámbito, se analiza la composición química de estas lluvias y los factores atmosféricos que confluyen en su gestación. La relación entre la mayor frecuencia de aparición de lluvias de barro y posibles cambios en la circulación atmosférica planetaria se plantea como cuestión, todavía, en ciernes.

Palabras clave: lluvias de barro, causas atmosféricas, frecuencia de aparición, regiones planetarias fuente de polvo atmosférico, cambios atmosféricos.

SUMMARY

Dust rain belong to the climatological conditions of the Mediterranean façade of the Iberian Peninsula. Traditionally know as rains of mud or blood, their study has been prompted, recently, by the accumulation of said type of precipitations over the last years. In spite of the difficulties that said study presents —lack of systematic recording in the meteorological observatories—, in this paper, we state in details the high annual frequency of this phenomenon in the area which occupies us. We also analyse the chemical composition of said rains and the atmospherical factors which bring them about. The relation between the higher frequency of these dust precipitations and possible changes in the planetary atmospheric circulation is presented as a question which is still little more than a guess.

Key words: dust rains, atmospheric causes, frequency of the phenomenon, planetary regions source of dust, atmospheric changes.

Introducción

Las lluvias de «tierra roja» o de barro, constituyen un fenómeno tan espectacular y conocido en la Cuenca Occidental del Mediterráneo como ignorado o descuidado en los registros de sus observatorios. Relatadas estas lluvias, como «lluvias de sangre», desde época bíblica, su estudio está recibiendo una inusitada atención en los últimos años. La razón no es otra que la reiteración y gran frecuencia de este tipo de precipitaciones en la última década y los posibles efectos climáticos y ambientales imputables. En este sentido y con especial incidencia en Europa meridional, los aerosoles de polvo sahariano pueden estar causando notables influencias en los ecosistemas marítimo y terrestre. Una difusa sedimentación y una activa neutralización de la acidez atmosférica parecen ser los impactos más directos, en el marco de un transporte global de polvo evaluado en más de 500 millones de toneladas anuales (C.S. Breed, 1986). Todo ello, además, registrado en unos momentos en que cualquier anomalía climática es analizada con el mayor celo por su posible implicación en los modelos de cambio climático.

La falta de registro sistemático de este proceso atmosférico, tanto en la red nacional como en la red mundial de observatorios meteorológicos, dificulta seriamente el análisis de series históricas que permitan concluir categóricamente el apreciado aumento de estas precipitaciones de tanta trascendencia en efectos climáticos y del ecosistema. Incluso para estos casos recientes del espacio peninsular no se dispone de otras referencias que los testimonios personales o las noticias de prensa. A pesar de ello, algunos estudios realizados sobre ámbitos próximos al Mediterráneo, en los últimos años, vienen a confirmar la importancia y mayor frecuencia de estas precipitaciones de barro.

En este orden de conocimientos, Burt ha documentado 25 casos de lluvias de polvo sobre las Islas Británicas entre 1900 y 1990. De ellos, 16, es decir, el 64% de los sucesos, se han producido entre 1983 y 1990 (S. Burt, 1991). Una tendencia mantenida más recientemente por los 8 nuevos episodios acontecidos en 1991 y 1992 (F.G. Thomas, 1993).

Idéntico incremento ha podido ser registrado en el Laboratorio de Aerología del Observatorio de Midi-Pirennées (Lannemezan, Francia), con una serie rigurosa y oficial. Así, entre 1983 y 1989, se han registrado 126 días con polvo sahariano en la atmósfera con 64 días de precipitación. Unas cifras que dan frecuencia de 18 días al año con presencia de este aerosol africano en la atmósfera pirenaica. (J. Dessens y P. Van Dinh, 1990).

Más problemático resulta el seguimiento de este fenómeno en la fachada mediterránea de la Península Ibérica. Aunque no faltan las referencias sobre estas «lluvias de fango» o «de sangre», las crónicas y relatos históricos aportan escasa documentación ya que al aludir de forma abundante a las lluvias torrenciales, sesgan este otro tipo de lluvia que precipita de forma débil o inapreciable. Se trata, en efecto, de un registro del que lamentablemente se sigue careciendo en las anotaciones oficiales de los observatorios meteorológicos. Esporádicamente han surgido alusiones. Así, una de las mejor fundadas es la de Jansá Guardiola sobre las lluvias de tierra acontecidas el 11 y 12 de mayo de 1947 en Baleares y que debieron ser de gran densidad y extensión por cuanto que están anotadas, también, en el Observatorio de Alicante (Ciudad Jardín). En esta última estación perduran hasta el día 14 de mayo si bien se alude a que en esta jornada la cantidad de «barro amarillo» disuelta era menor que en los días anteriores. Otra referencia más reciente sobre lluvias de barro en el sureste peninsular es la del 7 de enero de 1979 (J.J. Capel Molina, 1979).

En la última década, se han realizado algunos registros en los observatorios valencianos, si bien parecen corresponder solamente a las ocasiones de gran precipitación sólida. Así, en el Observatorio de Alicante (Ciudad Jardín) constan un número total de 13 días con

lluvias de barro entre 1970 y 1991. De ellos, 8 han acontecido entre 1988 y 1990. Unas cifras similares a las aportadas por los análisis del Departamento de Ecología de la Universidad de Alicante sobre lluvias de la Comunidad Valenciana. En sus datos figuran nueve ocasiones de lluvia de tierra en el trienio 1989-1991. Unos valores que están en consonancia con los registrados en el Observatorio Fabra de Barcelona, cuya serie abarca desde 1944. En ella, se ha dado una media anual de 2,77 días con lluvia de barro (J. Martín Vide y M.C. Llasat, 1991).

Consecuentemente, el seguimiento estadístico de este fenómeno es muy problemático por carecer de registros sistemáticos y oficiales. A ello han conducido una lamentable falta de atención a este tipo de meteoro, así como las dificultades derivadas de su propia naturaleza. La primera sería la detección de precipitaciones con muy poca carga sólida. Una segunda dificultad, y no menor, reside en el hecho de que la gran carga sólida de las primeras precipitaciones suele ser lavada por lluvias prolongadas o intensas, generalmente menos contaminadas.

De este modo, y a la luz de las investigaciones actuales sobre este fenómeno, puede afirmarse, sin ningún género de dudas, que los registros efectuados sólo reflejan una mínima parte de las ocasiones de lluvia de tierra acontecidas. En este sentido basta comparar la cifra media anual de Barcelona (2,77 días) con los 18 días registrados en el Laboratorio de Aerología del Observatorio de Midi-Pirennées (Lannemezan, Francia). No parece posible, en modo alguno, esa enorme diferencia entre el litoral levantino y la zona central y septentrional del Pirineo.

Ante toda esta documentación dispersa y parcial, las cuestiones que cabe plantearse no son otras que la indagación más rigurosa del posible incremento de estas lluvias de tierra y, en consecuencia, de su génesis y significado. Cuestión esta última que equivale a preguntarse sobre si la mayor frecuencia de este proceso podría significar algún cambio en las condiciones de circulación atmosférica o modificación del clima en la Cuenca Occidental del Mediterráneo.

La reiteración actual de las lluvias de barro

La falta de un registro sistemático de tales precipitaciones en los observatorios meteorológicos, obliga a una indagación en otras fuentes fenológicas. En este sentido, la existencia en Castellón de la Plana de una Estación de Autolavado de vehículos con anotaciones de «lluvias sucias» o «de tierra», nos ha llevado a realizar un análisis de las listas proporcionadas por varias de las más importantes y antiguas estaciones de lavado automático de coches en la Comunidad Valenciana. En estas listas constaban aquellos días con una cifra de servicios triple de la normal. Esta serie de días ha sido filtrada, inicialmente, tras observar su posible correspondencia con períodos vacacionales y festivos, teniendo como referencia principal la citada estación de Castellón con anotaciones precisas sobre días de «lluvia sucia» y «tierra». Posteriormente y de modo riguroso, ha sido sometida al estudio de la situación atmosférica en los dos días precedentes a la anotación. Un procedimiento verificado además en los dos últimos años, 1992-1993, con el recurso de las imágenes diarias de los satélites NOAA y los datos del Observatorio de Lannemezan (Francia). Especialmente interesantes han sido las detecciones de los aerosoles o nubes de partículas en las imágenes NOAA, el mejor procedimiento actual para la investigación del contenido de polvo en la atmósfera (A.A. Grigoryev y K. Kondratyev, 1981). Todo este análisis se ha realizado sobre la serie de años 1988-1993 (Fig. 1).

A lo largo de estos últimos seis años, 1988-1993, se ha producido un promedio anual de 27,6 episodios de lluvias de barro o tierra sobre la Región Valenciana (cuadro I).

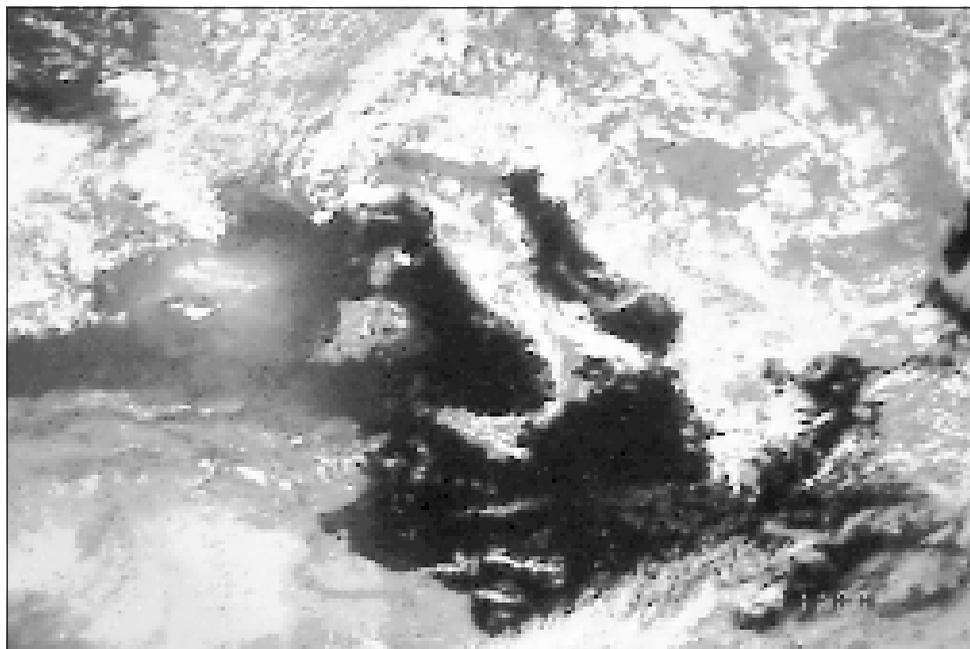


FIGURA 1. Nube de polvo sahariano sobre el mar Balear, captada por el canal visible del NOAA (15 de mayo de 1993, Estación de Climatología, Universidad Jaume I, Castellón). La foto muestra la gran escala de la dispersión desde Argelia hasta el Golfo del León.

Cuadro I

OCASIONES DE LLUVIA DE TIERRA EN LA COMUNIDAD VALENCIANA (1988-1993)

Meses	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Enero	1,7,30	20,29	3	1,13,20, 26	6	6,25
Febrero	4,12	13,17,21,26	2,8,22-24	8,19	19	19
Marzo	29	10,14,19,28	2-3,8,24	5,14,23, 31	1,6,24	4-5,12
Abril	23	1,9,25-26	6,13,20, 24	3,13,23	3,8	24
Mayo	20,27	9,21-22	3,12	1,9,17	19,29	15,23
Junio	1,23,30	5,19,28	4,8,13-14, 23	1,21,28	1,3,19,25	5,14
Julio	19,29	1,4,8,13	27	1,18,26	23	28
Agosto	5,20	2,7,9,24, 29	25	9,14,27, 29	1,15,26	3,6,25
Septiemb.	13-14,23	8,24,28	14,20,25	1,10,21	8,11,25	4,8,18
Octubre	18,22,27-28	17,22,26		4-5,25	4,16,30	9
Noviemb.	16,25	9,15,20	24	14	5,14	14,19,24
Diciembre	4,23,28	5,12,17-18	18	5	5,10,20-21	
AÑO	21	39	24	33	28	21

Una frecuencia elevada y de gran interés por cuanto que puede arrojar luz sobre la naturaleza y el régimen de las lluvias en territorio valenciano. Cuestiones ambas que, además de su relevancia climática y medioambiental, apuntan hacia esa ávida interrogación actual: ¿son la avanzadilla de algún cambio en las condiciones atmosféricas?

Naturaleza de las precipitaciones de tierra

Los numerosos histogramas elaborados con este tipo de precipitaciones vienen a demostrar que las lluvias de polvo africano están formadas por calibres de alcanzan hasta los 150 μm . La selección granulométrica es grande y muy concentrada en las partículas de hasta 40-50 micrómetros (Fig. 2).

La composición química muestra un gran predominio de carbonato cálcico y magnésico. Globalmente su pH es elevado. En la cima del monte Bartolo —Castellón—, a 720 m. de altitud, la Estación Universitaria ha venido midiendo valores entre 6.7 y 8.6 a lo largo de 1993 y los análisis sobre 8 días de precipitación de tierra en distintos puntos de la Comunidad Valenciana, a lo largo del trienio 1989-1991, han dado valores entre 6.64 y 8.65 (A. Carratala, 1992). Unos valores similares a los obtenidos en las lluvias de tierra del Pirineo (J. Dessens y P. Van Dinh, 1990) y en Italia (Loye-Pilot et alli., 1986). Ello ha permitido concluir que las lluvias de tierra podrían estar jugando un importante efecto neutralizador de la acidez atmosférica, proporcionando elementos carbonatados y cálcicos al ecosistema mediterráneo.

El análisis de la lluvia de tierra acontecida sobre Castellón el 19 de septiembre de 1993, daba los valores reflejados en el cuadro II. (Instituto Universitario de Tecnología Cerámica, Universidad Jaime I, Castellón).

Consecuentemente, estos altos valores en alcalinidad de los barros precipitados parecen jugar un papel decisivo en la calidad de las aguas de lluvia en la Comunidad Valenciana. Los análisis realizados sobre las aguas de lluvia caídas durante el trienio 1989-1991 han

FIGURA 2. *Histograma granulométrico correspondiente al episodio de lluvia de tierra del 19 de septiembre de 1993. Instituto Universitario de Tecnología Cerámica, Universidad Jaume I de Castellón.*

Cuadro II
ANÁLISIS QUÍMICO DE LA LLUVIA (19-IX-1993)

pH	7,98
Calcio	20,6 ppm.
Magnesio	0,7 ppm.
Sodio	3,5 ppm.
Potasio	5,5 ppm.

revelado que todos los valores medios de pH son superiores a 5.54. Ello impide hablar de precipitaciones ácidas en la Región de Valencia (A. Carratala, 1991), ya que estos valores son iguales o superiores a los del agua de lluvia no contaminada. Dada la existencia de fuertes emisiones contaminantes de procedencia industrial esta neutralización parece asociarse al alto valor de CO_3Ca de los aerosoles atmosféricos. Quizá por ello los valores regionales de pH disminuyen de sur a norte ya que son más elevados en Alicante (6.08) que en Valencia (5.73) y en Castellón (5.54), marcando el alejamiento del continente africano y la proximidad al europeo. Efecto señalado en el hecho de que a lo largo del litoral mediterráneo español tan sólo en Cataluña se han registrado lluvias ácidas, con valores de pH entre 4.74 y 4.97 en el Montseny y Prades respectivamente (F. Roda et alli., 1992).

Los análisis han mostrado igualmente que el pH disminuye desde la zona costera hacia el interior. Así lo muestran algunos valores de pH inferiores a 4 registrados en el Alto Maestrazgo (AMBIO, S.A., 1992). Es posible que las precipitaciones más cuantiosas, duraderas e intensas del interior, así como la disminución de los aportes de iones sodio y magnesio marinos, resten capacidad neutralizadora de la acidez. En Barcelona se ha registrado una acusada caída del pH del agua de lluvia desde 6.8 a 4.3 a lo largo de las dos primeras horas de precipitación. No obstante, las lluvias prolongadas muestran una tendencia del pH a estabilizarse entre 5 y 5.5 lo que corresponde a una atmósfera limpia con 350 ppm de CO_2 (B. Codina y J. Lorente, 1993). Estos procesos evidencian la función de lavado atmosférico realizado por las lluvias. En los primeros momentos precipitarían la mayor parte de los aerosoles y núcleos de condensación existentes y cuya naturaleza alcalina se refleja en los altos valores de pH del comienzo de la lluvia.

Origen geográfico de los aerosoles sólidos

El pequeño calibre de estas verdaderas brumas secas así como la composición carbonatada de las partículas precipitadas durante las lluvias de tierra permiten estimar que su origen puede ser local o aloctono. No obstante, y sin eliminar alguna pequeña aportación local, la extensión y magnitud de tales aerosoles revelan una procedencia de regiones áridas o semiáridas en consonancia a la distribución de las tempestades de polvo (A. Grigoryev y K. Kondratyev, 1980 y 1981). Por otra parte, la actual imaginería de satélites no ofrece dudas sobre este origen (Fig. 3).

La principal fuente de polvo atmosférico para la Cuenca Occidental del Mediterráneo se halla al sur del Atlas y a lo largo del Desierto del Sahara. Durante los meses de verano y otoño, el foco más importante se sitúa entre el Sahara español y el norte de Mauritania. En cambio, para los fenómenos de invierno parece ser más activa la fuente del Sahara Central e incluso el norte del Sudán. Globalmente pues, la principal fuente de procedencia de los polvos africanos es toda la región situada entre las montañas del Atlas en Marruecos y las montañas del Ahaggar al sudeste de Argelia.

FIGURA 3. *Áreas planetarias fuente de polvo atmosférico y trayectorias más frecuentes.* (GRIGORYEV, A. A., y KONDRATYEV, K. J. 1980; modif. QUEREDA, J. y OLCINA, J. 1993).

FIGURA 4. *La principal fuente de polvo atmosférico para Europa es el desierto de Sahara. Una de las trayectorias más características, con toda su complejidad, es la representada en la figura.*

Los procesos de transporte

Constituyen un proceso importante en estos fenómenos por cuanto que las distancias recorridas por esas masas de partículas son notabilísimas. El polvo del Desierto de Sahara ha sido registrado en los observatorios del Caribe y el procedente del Desierto de Gobi en el mismo Mauna Loa (Hawai) (P. Turco, 1992).

De modo ya más frecuente, el polvo sahariano se viene registrando en toda Europa Occidental hasta el norte de Escocia y de Alemania, es decir a distancias de 3 a 4.000 km de sus fuentes de origen. Para ello suelen atravesar grandes barreras orográficas de 2 a 4.000 metros de altitud: Atlas, Béticas, Cantábrica Pirineos y Alpes (Fig. 4). Unas ascensiones que son explicables por la fortísima convección térmica y dinámica que engendra tales desplazamientos.

En consecuencia, la larga permanencia de estas partículas en la atmósfera y la gran velocidad horizontal del viento determinan la posibilidad de esos grandes transportes y la selección granulométrica. La permanencia en suspensión viene controlada por varios factores. El primero es la velocidad de caída de esas partículas, unos 3 cm/seg. para el calibre más frecuente 10 μ m. Asimismo la turbulencia aérea y los procesos nubosos y de precipitación asociados a la parte frontal de las borrascas de altitud condicionará el transporte bien elevando o bien precipitando tales partículas. De este modo, las condiciones de la circulación general y regional pueden determinar esos transportes, tan considerables en ocasiones como los penachos de tierra sahariana observados en el mar Caribe (J.M. Prospero, 1972). Transportes que, a juzgar por la reiteración actual de las lluvias de tierra sobre la Península Ibérica y sur de Francia, constituyen un elemento importante del clima y de la circulación atmosférica regional en la Cuenca Occidental del Mediterráneo.

Génesis de las lluvias de tierra

Las condiciones geográficas y atmosféricas que originan estas precipitaciones de fango tienen su origen en períodos de intensa insolación y sequía sobre el Desierto del Sahara. Condiciones que favorecen la desecación y meteorización de los suelos, más aptos así para ser elevados a altitudes de varios centenares de metros por pura convección térmica o dinámica. En el suelo, una intensa insolación puede crear situaciones superadiabáticas de gran inestabilidad en las que el polvo puede elevarse en forma de «microtornados» hasta altitudes de un millar de metros (Ch. Morales, 1986). De este modo, estos aerosoles de tierra aparecen englobados en las potentes advecciones de masa aérea africana que desbordan sobre la Península Ibérica y Europa Occidental y que resultan discernibles en la cartografía sinóptica de 850 y 700 HPa. (Fig. 5).

No obstante, para que los procesos adquieran intensidad y extensión suficiente, es preciso que ya en estos niveles exista una fuerte convección dinámica capaz de inyectar la masa de polvo en las espirales ciclogénicas de la circulación regional y general. La profundidad de la ciclogénesis en estos niveles altos determina la mayor o menor distancia de transporte. Un transporte que continúa hasta que estas partículas son involucradas en los procesos de precipitación de la parte central de la borrasca.

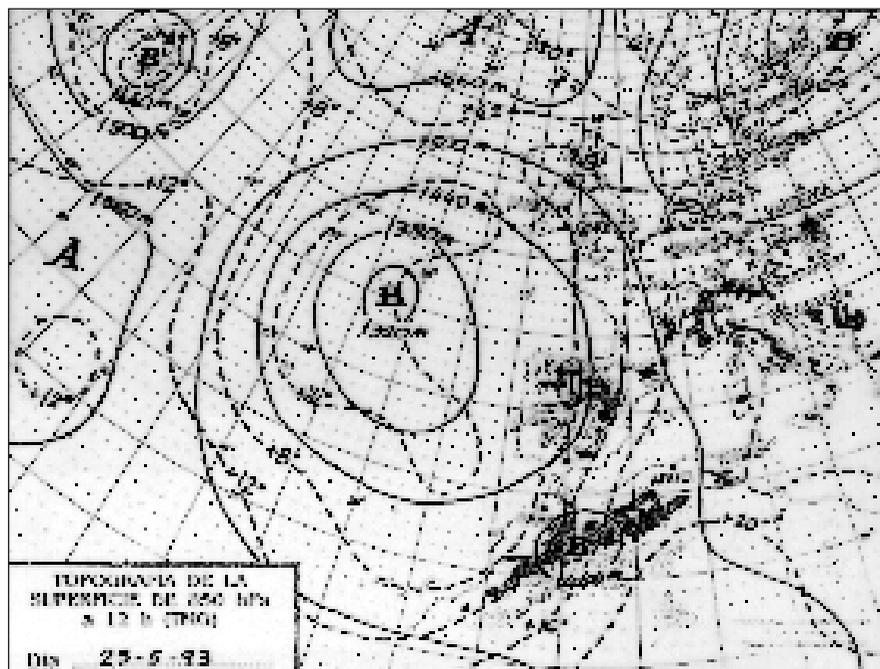
Consecuentemente, las lluvias de polvo sahariano vienen asociadas a ciertas configuraciones sinópticas de la circulación atmosférica general y regional. El análisis de las situaciones de lluvia de barro ocurridas en la fachada mediterránea peninsular en los últimos años muestra una serie de rasgos sinópticos comunes:

- Flujos del sur o suroeste en la troposfera media y alta, que se acompañan de sectores de divergencia por difluencia sobre la fachada mediterránea peninsular o de la presencia de ramales (streaks) del Jet Polar circulando sobre dicho ámbito.
- Advección de flujos del norte de África en las capas bajas de la troposfera, aspecto que se comprueba claramente en las topografías de 850 y 700 Hpa.
- Más variadas son, por su parte, las configuraciones isobáricas en superficie; sin embargo, puede señalarse como rasgo común la existencia de flujos de viento del segundo cuadrante sobre la fachada mediterránea peninsular.

El análisis detallado de las configuraciones atmosféricas típicas de las jornadas de precipitaciones de tierra permite distinguir entre aquellas situaciones en las que resulta decisiva la participación de flujo de vientos del tercer cuadrante en altitud y la instalación de sectores de divergencia sobre la mitad este de la Península Ibérica y, por otra parte, configuraciones donde la presencia de estos flujos es matizada o incluso nula y son las circulaciones de la baja troposfera las que favorecen, en mayor medida, el arrastre de polvo sahariano hasta nuestras tierras.



FIGURA 5. La imagen muestra la evidente coincidencia de contornos, sobre el centro de la Cuenca Occidental del Mediterráneo, entre la nube de polvo sahariano y la advección de masa aérea africana plasmada en la topografía de 850 hPa. (I.N.M. e imagen NOAA, Estación de Climatología, Universidad Jaume I, Castellón, 27 de mayo de 1993).



Entre las primeras la más característica es la que presenta un núcleo de bajas presiones superficiales sobre el norte de África y sur de la Península Ibérica. Este núcleo de bajas presiones, aunque superficialmente puede ser de origen térmico, está intensificado por las resonancias de la ciclogénesis de altitud. La naturaleza térmico-convectiva de superficie aparece más nítida cuando las bajas presiones forman un área con varios núcleos. En niveles de 850 hPa se dibujan claramente las isotermas de la masa de aire africano advectiva sobre Europa (Fig. 6).

El panorama sinóptico se completa con la existencia, en altitud, y al oeste de la Península Ibérica de una depresión fría —o en ocasiones es suficiente la instalación de una vaguada— que activa la convección de las capas bajas. Ello determina, por un lado, la ascendencia de las partículas de polvo hasta niveles de 600-500 hPa., y por otra parte, el final del proceso de lavado atmosférico y precipitación de la tierra. Esta, como se ha señalado, se opera en la parte delantera de la vaguada —sector de salida de vientos— y a lo largo de la superficie frontal engendrada entre la masa de aire frío descendente al oeste y la advección de aire cálido africano que la envuelve por el este.

Este modelo circulatorio con convección térmica y dinámica puede presentar una variada tipología, en virtud de la intensidad de las expansiones de las masas de aire que generan ondas planetarias sobre el espacio sinóptico peninsular. Así, un estudio detallado de las configuraciones atmosféricas que presentan este modelo atmosférico permite distinguir dos situaciones:

—Vaguadas de aire polar o ártico marítimo con eje situado entre 5 y 10° W. Se trata de intensas expansiones de aire frío que determinan ondas de considerable amplitud variable. Con frecuencia ramales del Jet Stream (streaks) circundan dicha vaguada. Son éstas las situaciones atmosféricas más frecuentes para el desarrollo de precipitaciones de polvo sahariano en espacios geográficos alejados de la cuenca mediterránea (Francia, Alemania y Reino Unido), en virtud de la conexión de estas profundas ondas polares, por su sector oriental, con intensas crestas subtropicales que desde el norte de África alcanzan la Península Escandinava, abrazando bajo su dominio anticiclónico la práctica totalidad del espacio sinóptico europeo (Fig. 7).

—El segundo tipo, presenta depresiones frías gestadas sobre el Golfo de Cádiz como consecuencia del desarrollo de un dipolo barométrico o retrogresión del Jet. En estos casos la fachada mediterránea peninsular se ubica bajo el sector de divergencia por difluencia comprendido entre la depresión fría y la superficie equipotencial que limita la vaguada polar. Ocurre, además, que ramales del Jet Polar circulan sobre el este de la Península Ibérica aumentando los efectos de inestabilidad atmosférica. La situación atmosférica, en superficie, viene dominada por la instalación de un potente anticiclón de bloqueo sobre Europa, por cuyo sector meridional circulan vientos de componente este-sureste hacia las tierras del levante español (Fig. 8).

Por su parte, en las lluvias de barro que tienen lugar en los meses centrales del verano parece primar la convección térmica sobre la circulación dinámica. Ese hecho se muestra evidente en el estudio de la topografías de 850 y 700 hPa. En estos meses, la sola presencia de ondulaciones de vaguada de escasa amplitud (ondas cortas), circulaciones zonales —con paso de frentes no muy activos en superficie y advección sahariana en la baja troposfera— o circulaciones de tipo mixto con vaguada al oeste de la Península Ibérica y crestas enérgicas sobre su mitad oriental y cuenca mediterránea, son suficientes para generar procesos inestables con desarrollo de precipitaciones de polvo sahariano. En estos casos, valores térmicos diarios elevados y alimentación sahariana en bajos niveles atmosféricos son suficientes para disparar mecanismos termoconvectivos aunque la inestabilidad de estas configuraciones no sea acusada.

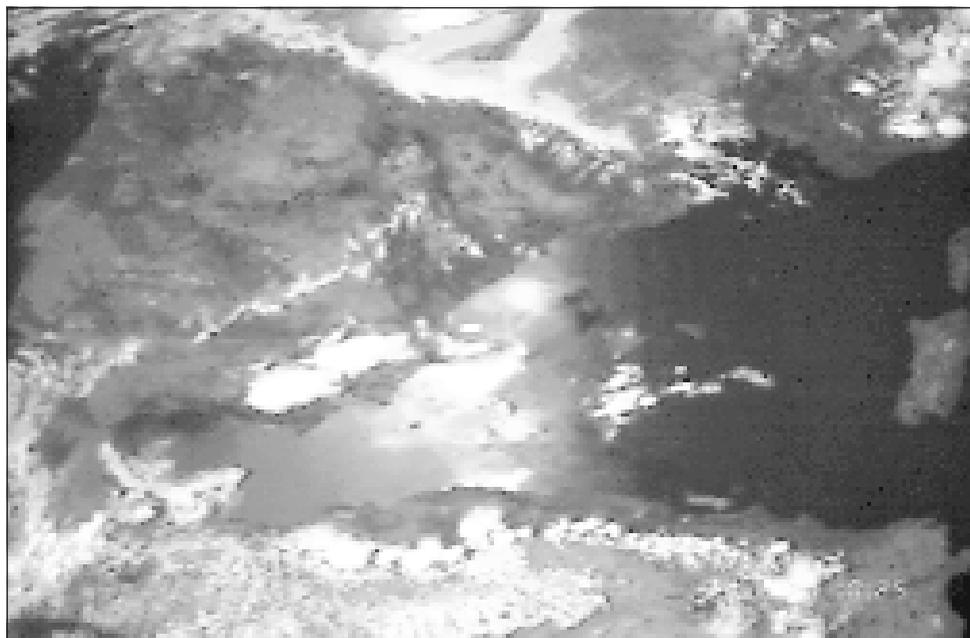
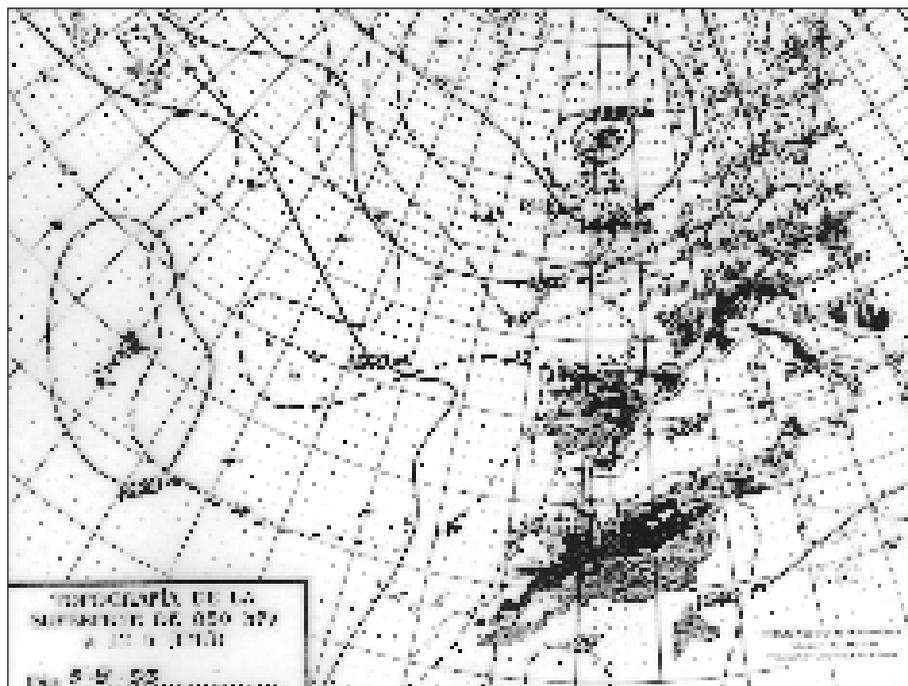


FIGURA 6. Situación el día 3 de agosto de 1993. La nube de polvo sahariano aparece sobre el mar de Alborán. La cartografía del área convectiva y advectiva ilustra el origen de los procesos de inyección de polvo desértico en la atmósfera.



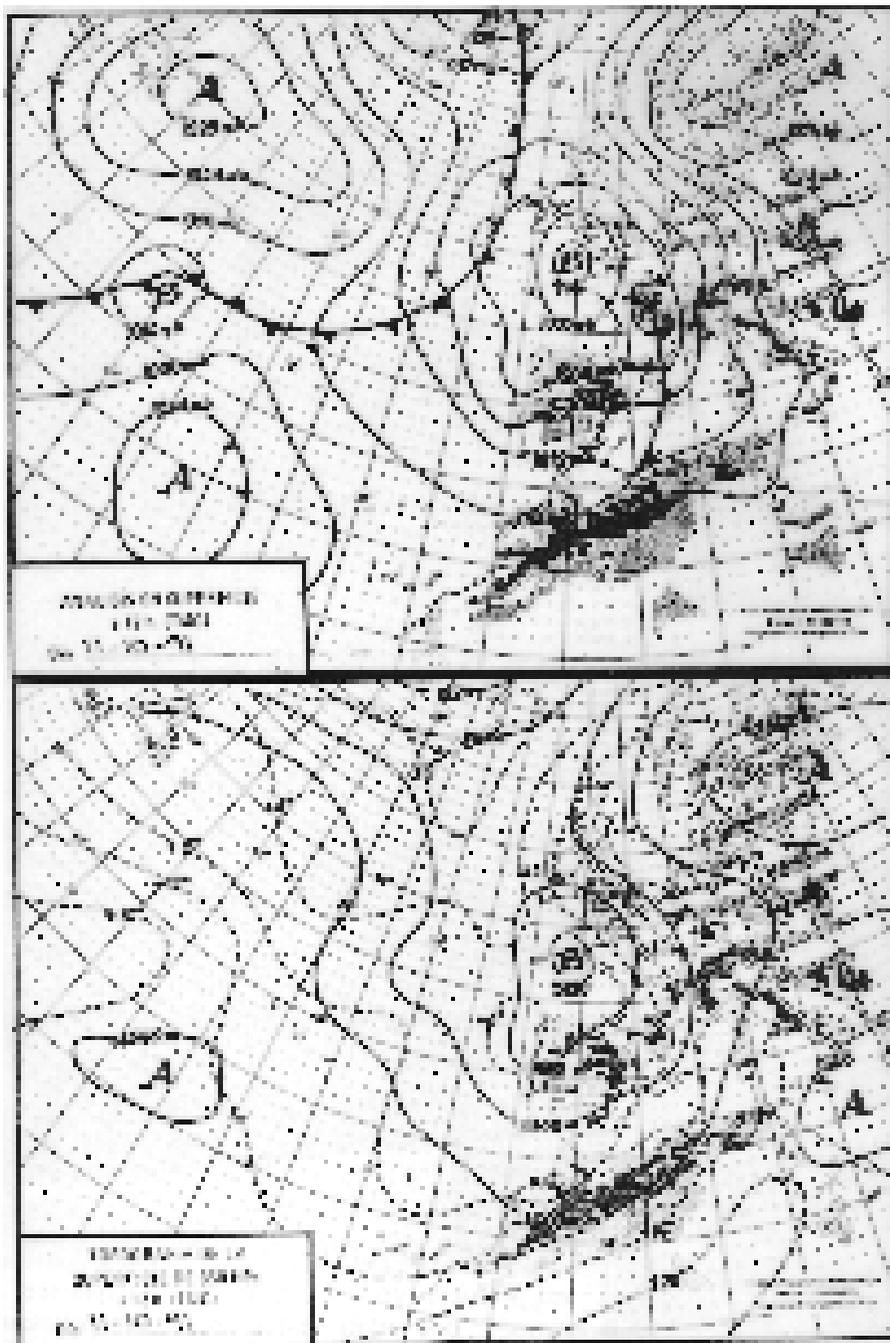


FIGURA 7. Situación correspondiente al día 11 de octubre de 1991. Las precipitaciones de polvo desértico fueron abundantes sobre las Islas Británicas. La imagen refleja la gran escala del movimiento de transporte.

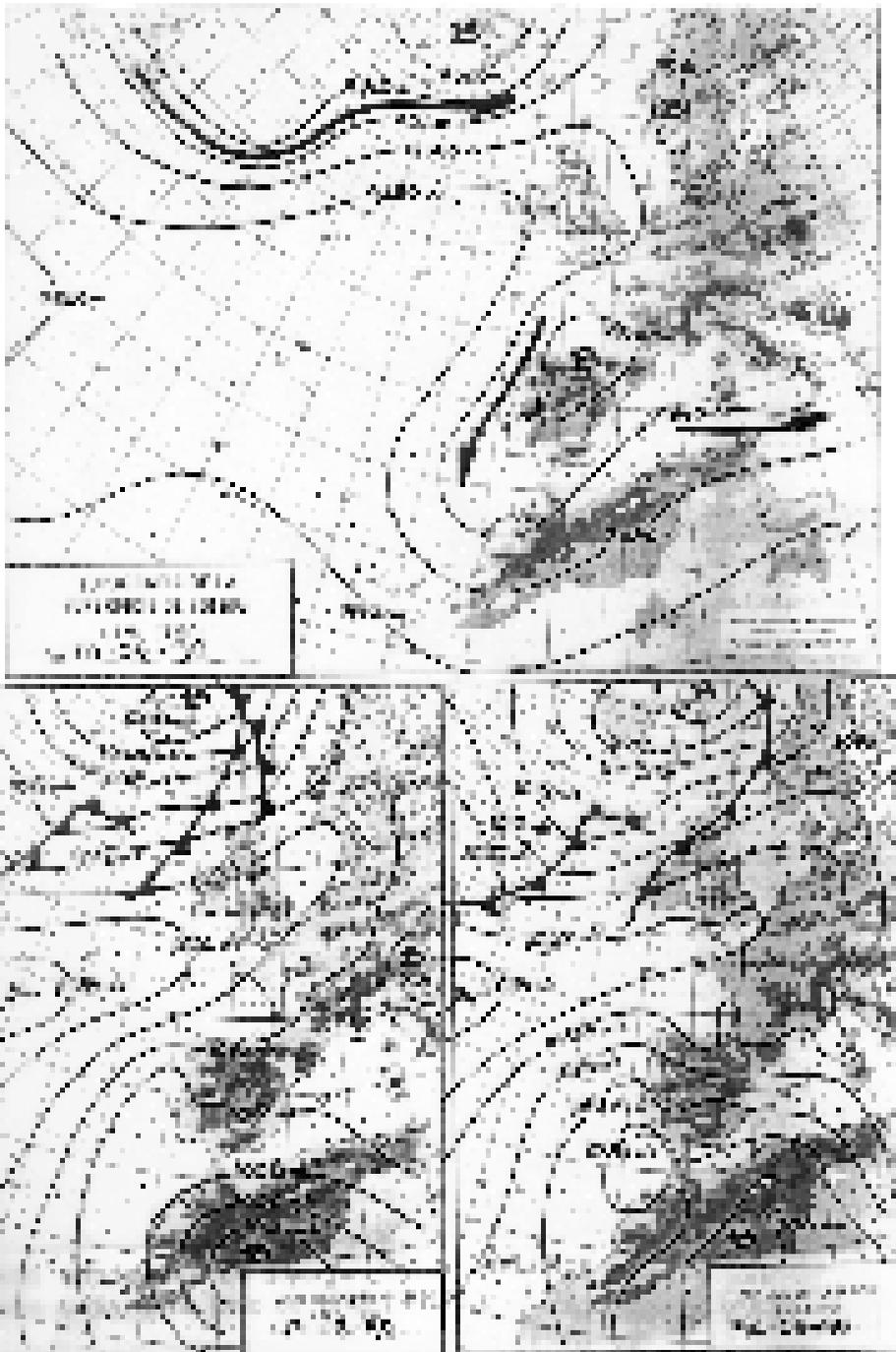


FIGURA 8. Situación atmosférica en superficie y a 300 Hpa correspondientes al día 13 de junio de 1992 (I.N.M.).

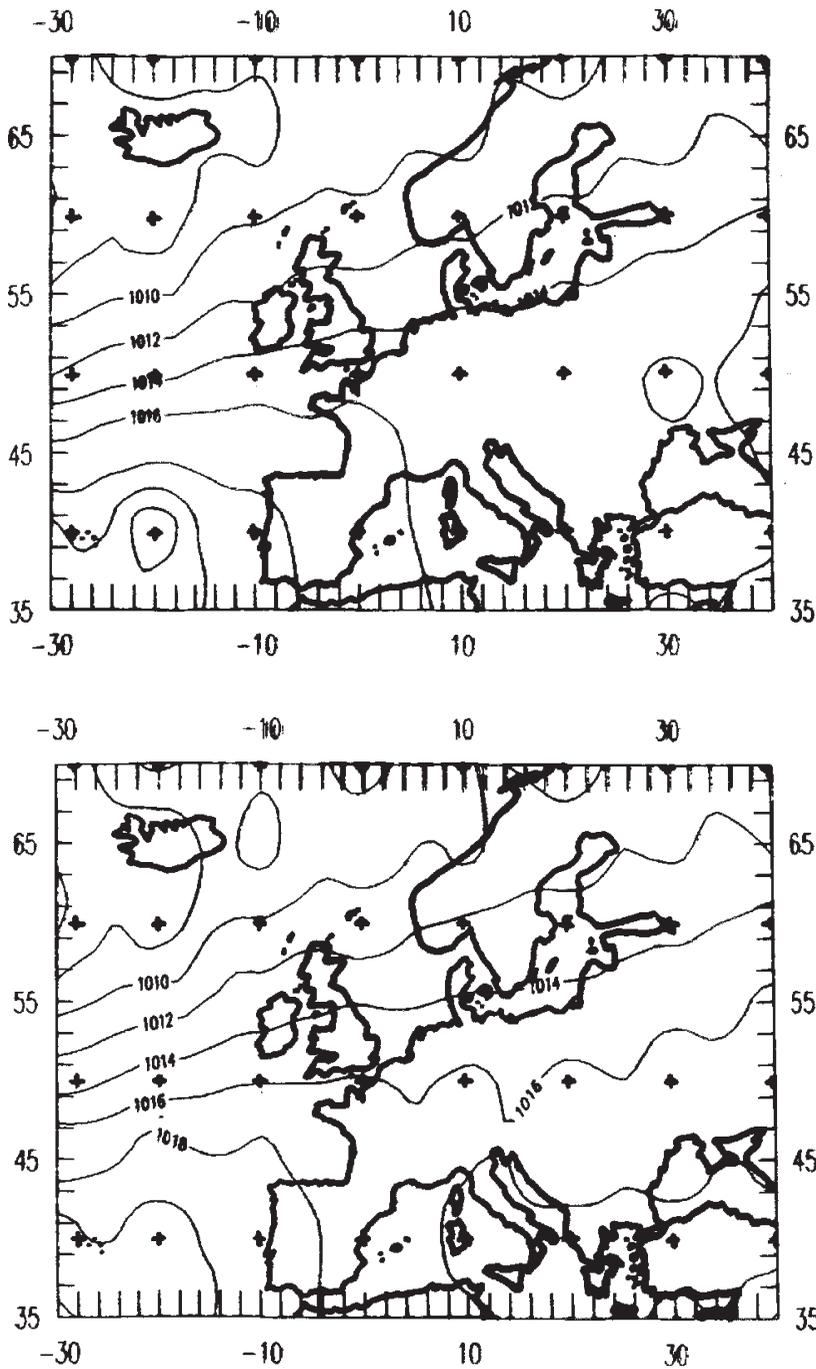


FIGURA 9. Los mapas de presión atmosférica en superficie de (1901-1970) y (1971-1980), reflejan la elevación barométrica experimentada por las latitudes medias y subpolares en la década de los años setenta.

¿Las lluvias de polvo sahariano constituyen un signo de cambio climático?

La naturaleza de estos procesos y el notable aumento de sus registros a lo largo de los últimos años, han determinado que los climatólogos se enfrenten a esta cuestión clave: ¿son un signo de cambio climático? Una cuestión que es lícito plantearse teniendo en cuenta la amplia escala regional de tales fenómenos, así como su correspondencia con grandes perturbaciones atmosféricas. Las lluvias de polvo sahariano al norte de los Pirineos han correspondido, con gran frecuencia y simultáneamente con situaciones de lluvias intensas y episodios de granizo en la región levantina, revistiendo pues una naturaleza diferente según los lugares afectados.

En cualquier caso resulta evidente que ese aumento de los registros debe responder a una mayor ocurrencia de las situaciones de intensa insolación y convectividad en las regiones fuentes del Sahara, así como a una mayor frecuencia de las situaciones sinópticas favorables al transporte de las partículas de tierra hacia latitudes más septentrionales del norte de Europa y concretamente de las advecciones de aire sahariano.

Tal vez la integración más verosímil de ambas situaciones pueda residir en una dilatación de la célula de Hadley en la circulación atmosférica general. Esta dilatación en latitud sería la compensación necesaria de energía y momento ante la elevación latitudinal de la zona baroclina asociada al Frente Polar como consecuencia de la lenta y progresiva fusión de la banquise. En el Hemisferio Norte, la zona comprendida entre los paralelos 35° y 70° y los meridianos 30° W y 40° E así parece mostrarlo. Los mapas de presión atmosférica superficial de la década 1971-1980 acusan una sensible elevación latitudinal con respecto a las medias de 1901-1970 (Fig. 9). En definitiva estaríamos ante el corolario de las nuevas zonaciones térmicas determinadas por el efecto invernadero o, al menos, por el aumento actual de temperaturas. Este incremento de las temperatura, general en todo el Hemisferio

FIGURA 10. *Las series térmicas de los observatorios más septentrionales del Hemisferio Norte muestran la elevación de temperaturas que se viene registrando a lo largo del siglo XX.*

Norte, ha sido especialmente acusado en las latitudes más septentrionales. Las series históricas de los observatorios de Akureyri (norte de Islandia) y Vardo, a 71° de latitud en el norte de Noruega, revelan que este incremento ha sido superior a un grado centígrado entre el último tercio del siglo XIX y el último del siglo XX (Fig. 10).

Bibliografía

- AMBIO, S.A. (1992): «Análisis de los valores obtenidos en la red de inmisión del Maestrazgo desde su puesta en marcha (período 1984-1991)». Endesa, Empresa Nacional de Electricidad, 3 vols.
- BREED, C.S. and McCauley, J.F. (1986): «Use of dust storm observations on satellite images to identify areas vulnerable to severe wind erosion», *Climatic Change*, 9, 1-2, pp. 244-258.
- BURT, S. (1991): «Falls of dust rain within the British Isles», *Weather, R.M.S.*, 46, 11, pp. 347-352.
- CAPEL MOLINA, J.J. (1979): «Lluvias de barro, registradas el 7 de enero de 1979, en el sureste de la Península Ibérica». *Anales del Colegio Universitario de Almería*, pp. 103-111.
- CARLSON, T.N. and PROSPERO, J.M. (1972): «The large scale movement of Saharan air outbreaks over the Northern Equatorial Atlantic», *J. Appl. Meteorol.* 11, pp. 283-297.
- CARRATALA, A. et al. (1991): «Pautas de distribución temporal y espacial del sulfato no marino en la Comunidad Valenciana», *II Jornadas de Sanidad Ambiental*, Madrid, 6 pp.
- CARRATALA, A. et al. (1992): «Composición química del agua de lluvia en la Comunidad Valenciana: resultados preliminares de una red para el control de la calidad ambiental». *Tecnología del Agua, XII*, 101, pp. 1-7.
- CDIAC (1987): «Monthly Mean Pressure Reconstructions for Europe (1780-1980) and North America (1858-1980)» U.S. Depart. of Energy.
- CODINA, B. y LORENTE, J. (1993): «Rain acidity during a storm: results from a simple acid-monitoring device». *Weather*, 48, 6, pp. 181-184.
- D'ALMEIDA, G.A. (1986): «A model for Saharan dust transport», *J. Climate Appl. Meteorol.*, 25, pp. 903-916.
- DESSENS, J. and VAN DINH, P. (1990): «Frequent Saharan dust outbreaks North of the Pyrenees: A sign of climatic change?», *Weather, R.M.S.*, 45, 9, pp. 327-332.
- ERICKSON, J.: *Las tormentas*. Mc Graw-Hill Divulgación Científica. Madrid, 305 pp.
- GRIGORYEV, A.A. y KONDRATYEV, K. Ja. (1980): «El polvo atmosférico observado desde el espacio» Parte I. *Boletín de la O.M.M.* vol. 29, nº 4, pp. 286-291.
- GRIGORYEV, A.A. y KONDRATYEV, K. Ja. (1981): «El polvo atmosférico observado desde el espacio» Parte II. *Boletín de la O.M.M.* vol. 30, nº 1, pp. 3-10.
- JANSA GUARDIOLA, J.M. (1948): «Lluvias de barro registradas en Baleares durante la primavera de 1947». *Rev. de Geofísica*, VII, 26. Madrid, pp. 182-193.
- LOYE-PILOT, M.D. et al. (1986): «Influence of Saharan dust on the rain acidity and atmospheric input to the Mediterranean», *Nature*, vol. 321, nº 6068, pp. 427-428.
- MARTÍN VIDE, J. y MORENO GARCÍA, M.C. (1985): «Les pluges de fang a Barcelona». *Revista Catalana de Geografia*, 1, pp. 60-70, Barcelona, I.C.C.
- MARTÍN VIDE, J. y LLASAT, M.C. (1991): «Las lluvias de barro: un análisis estadístico de una serie de 43 años en Barcelona», *Geographicalia*, 28, pp. 161-173.
- MORALES, Ch. (1986): «The Airborne Transport of Sahara Dust: A Review», *Climatic Change*, 9, 1-2- pp. 219-242.
- PROSPERO, J.M. y NEES, R.T. (1986): «Impact of the North African drought and El Niño on mineral dust on the Barbados trade winds», *Nature*, 320, pp. 735-738.
- RODA, F., BELLOT, A. et al. (1992): «Saharan dust and the atmospheric inputs of elements and alkalinity to mediterranean ecosystems», *Water, Air and Soil Pollution*, abril 181, 12 p.
- STEVENSON, C.M. (1969): «The dust fall and severe storms of 1 July 1968», *Weather R.M.S.*, 24, pp. 126-132.
- THOMAS, F. G. (1993): «Dust rain» *Weather R.M.S.*, 46, 6, p. 193.
- TULLET, M.T. (1984): «Saharan dust-fall in Northern Ireland», *Weather R.M.S.*, 39, 5, pp. 151-152.
- TULLET, M.T. (1988): «A dust fall on september 1987», *Weather R.M.S.*, 43, 9, pp. 340-341.
- TURCO, R.P. (1992): «Atmospheric chemistry» in Trenberth, K.E., ed. *Climate System Modeling*. Cambridge University Press. New York, pp. 234-235.