

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA IMPORTANCIA DEL POLVO DE ORIGEN SAHARIANO EN EL CLIMA DEL ARCHIPIÉLAGO CANARIO Y SU APORTE A LAS AGUAS SUPERFICIALES OCEÁNICAS: EL EPISODIO DE ABRIL DE 2002

P. DORTA*, M^a.D. GELADO**, P. CARDONA**, C. COLLADO**, C. CRIADO*, J.J. HERNÁNDEZ**, S. MENDOZA*, V. SIRUELA**, M^a.E. TORRES**, D. CURBELO**, P. LÓPEZ** y E. RODRÍGUEZ**

* *Departamento de Geografía. Universidad de La Laguna.*

** *Departamento de Química. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.*

RESUMEN

El clima del archipiélago canario, por su cercanía al mayor desierto del planeta, sufre periódicamente advecciones de aire sahariano. El desplazamiento de estas masas de aire tropical continental da lugar al transporte de grandes cantidades de material particulado de origen litogénico, conocido como calima, que se deposita sobre la superficie insular y oceánica. En este trabajo tratamos de establecer las bases para su estudio, mostrando técnicas de selección y aparatos de medida a la vez que se expone un ejemplo de estas situaciones atmosféricas tan singulares del clima de esta región del planeta.

Palabras clave: Sáhara, calima, polvo en suspensión, Canarias, Atlántico.

ABSTRACT

The Canary Islands, being so close to the biggest desert on earth, stand periodical invasions of saharian winds. The sliding of these masses of continental-tropical air usually carries great quantities of particled material of a sandy structure, known as dust, which falls on the islands an their surrounding sea. On this work we try to fix the bases to study some selection techniques and measurement devices, showing at the sametime an example of these atmospheric situations, so singular on the climate of this region of the planet.

Key words: Sahara, desert dust, Canary Islands, Atlantic Ocean.

1. INTRODUCCIÓN

Con el presente trabajo pretendemos mostrar algunas de las cuestiones más destacadas de una de las situaciones atmosféricas más singulares del clima de Canarias: las advecciones del aire sahariano. Éstas suponen, de forma habitual, el aporte de grandes cantidades de polvo en suspensión, el cual no sólo configura uno de los rasgos más destacados del clima de las islas, sino que también implican una importancia notable sobre los ciclos biogeoquímicos de especies químicas en el medio marino.

Las cuestiones más generales sobre su estudio son el principal objetivo de este trabajo que aquí se presenta. Para ello se ha estructurado la exposición en una primera parte en la que se explica la

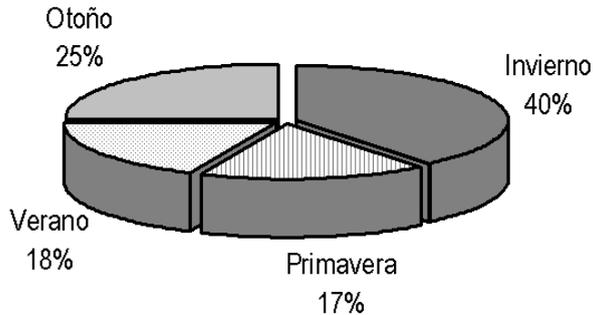


Figura 1: Distribución estacional de las advecciones de aire sahariano en Canarias. (Fuente: DORTA, 1999)

sucesión de tipos de tiempo en las islas y el peso de estas situaciones en el clima de Canarias, en segundo lugar, se analizan los rasgos más sobresalientes de las advecciones de aire sahariano, y su trascendencia en las aguas superficiales como fuente de nutrientes y metales, a continuación se muestran los métodos y técnicas con los que se trabaja para la medida del polvo que llega a las islas y, por último, se exponen los primeros resultados obtenidos empleando para ello un episodio concreto acaecido en abril de 2002.

En este trabajo participan el departamento de Geografía de la Universidad de La Laguna y el Departamento de Química de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria a través de un Proyecto de Investigación (nº 2001/086) financiado por la Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias.

2. CARACTERÍSTICAS DE LAS ADVECCIONES DE AIRE SAHARIANO

A lo largo del año las Islas Canarias se ven afectadas por diferentes situaciones sinópticas que, de manera sintética, podrían reducirse a tres (MARZOL, 1993): el régimen de los vientos alisios, la más frecuente, en especial en los meses de primavera y verano, las situaciones de inestabilidad centradas entre los meses del otoño y principios de la primavera, y, por último, las advecciones de aire sahariano, más frecuentes en invierno (DORTA, 1999).

La presencia de estas masas, de aire de procedencia sahariana, es notablemente habitual puesto que constituyen casi el 25 % de las fechas del año (DORTA, 1999), con un mínimo muy destacado entre los meses de abril y junio, coincidiendo con un máximo en la circulación del alisio (figura 1). La llegada de estas masas de aire suponen una transformación radical en las condiciones de suavidad termohigrométrica que impone la circulación del alisio, de manera que se produce una invasión en el sentido más literal de la palabra de un aire cálido y, sobre todo, seco así como un cambio en la dirección y velocidad del viento, la desaparición de la nubosidad baja y el enturbiamiento del aire como consecuencia del transporte de polvo en suspensión.

Son numerosas las referencias que se tienen sobre la calima como un elemento consustancial al clima de las islas. Desde los siglos XVII y XVIII existen narraciones sobre acontecimientos de este tipo, aunque muchas de ellas son meras descripciones sin ningún valor científico. Destacan, ya con un cierto rigor científico, las observaciones realizadas por Darwin en 1846 en la costa occidental africana (MIDDLETON, 1997) o las llevadas a cabo por Scott en un episodio de febrero de 1898 (SCOTT, 1900). FONT TULLOT, en 1950 elabora el primer estudio exhaustivo de estas situaciones en Canarias, siendo el que sienta las bases para su estudio.

La cantidad de polvo que pasa y se deposita sobre el archipiélago y sus aguas superficiales, la estacionalidad, las posibles tendencias o ciclos aún hoy son una incógnita. Algunos primeros estudios muestran datos aproximados (SCHÜTZ, 1980) y otros manejan series temporales cortas que sólo permiten hacer una aproximación a las cantidades reales. Sin embargo, todos ellos ponen de relieve la importancia de su presencia en el sistema océano-atmósfera en esta región del globo, señalando al respecto un destacado aporte de aerosol mineral hacia las aguas superficiales.

En este sentido, distintos investigadores han demostrado la relación entre la pluma de polvo del Sahara y la química de las aguas superficiales en el Océano Atlántico (STAHAM and BURTON, 1986; HYDES, 1983; KREMLING, 1985). Estas relaciones pueden ser complejas, no necesariamente lineales debido a la influencia de los procesos físicos en las aguas superficiales o a procesos internos en los ciclos biogeoquímicos de estos elementos que enmascaran la señal atmosférica.

El aerosol mineral disuelto introduce nutrientes y metales por un intercambio relativamente rápido en la masa de agua superficial. Se ha podido demostrar mediante medidas de radionúclidos (Pb) que, por ejemplo, en los esqueletos de corales la señal de entrada atmosférica aparece dentro de un periodo de un año (BENNINGER y DODGE, 1986).

Los perfiles de metales como el Al, Mn y principalmente el Pb, con máximos superficiales, sugieren la importancia de la entrada atmosférica en los ciclos biogeoquímicos de estos elementos. La complejidad del estudio de las variaciones estacionales de las concentraciones de estos elementos en relación con las entradas atmosféricas, reside en que los procesos biogeoquímicos no pueden aislarse de la influencia de los procesos físicos en la columna de agua. En algunos casos aquellos pueden controlar las distribuciones en los primeros metros de la columna de agua observándose un buen acoplamiento entre la atmósfera y las aguas oceánicas superficiales, por ejemplo, Al y Mn en el Mar de los Sargazos (JICKELLS, 1995).

Actualmente el principal interés en el estudio del impacto de las entradas de polvo en la biogeoquímica de las aguas superficiales reside en la importancia del hierro como un nutriente traza y el hecho de que la atmósfera es la principal fuente de hierro al océano. Aunque los ríos transportan grandes cantidades de hierro, éste precipita en la zona costera no quedando disponible para el fitoplancton. La cantidad de hierro en el polvo mineral del Sahara es aproximadamente un 5 % y dado que su solubilidad en agua de mar es extremadamente baja, probablemente, sólo un 0.1 % de éste se disuelve en el agua de mar. Sin embargo, este hierro puede ser transportado en la atmósfera a grandes distancias desde los continentes alcanzando áreas oceánicas remotas. En algunas áreas oceánicas el hierro puede limitar el crecimiento del fitoplancton aunque existan otros nutrientes en cantidades suficientes. Además, parece que entradas de hierro elevadas podrían estimular la fijación de nitrógeno en las aguas del giro noratlántico favoreciendo el crecimiento de las comunidades fitoplanctónicas (GRUBER y SARMIENTO, 1997).

La cantidad de metal soluble que se libera a partir del material mineral puede verse favorecida por otros procesos biológicos y químicos que tienen lugar en la capa superficial. La materia particulada que entra a las aguas superficiales es principalmente eliminada por procesos biológicos, tal como la ingestión por organismos filtradores. Estos procesos hacen que el tiempo de residencia de las partículas en las aguas superficiales sea del orden de 100 a 200 días (DEUSER et al., 1983). Los bajos pH en el proceso de digestión del zooplancton favorecen la solubilización de los metales (BARBEAU y MOFFETT, 1998). Además, otros procesos como la fotoreducción en las aguas superficiales o la complejación con la materia orgánica pueden estabilizar formas reducidas del Mn y Fe. Todo esto hace que nuestro entendimiento de cómo las entradas de polvo mineral afectan los ciclos biogeoquímicos de los elementos en el agua de mar requiera todavía un mayor esfuerzo en la cuantificación de los diferentes procesos físicos, químicos y biológicos que actúan conjuntamente sobre el aerosol mineral una vez alcanza el medio marino.

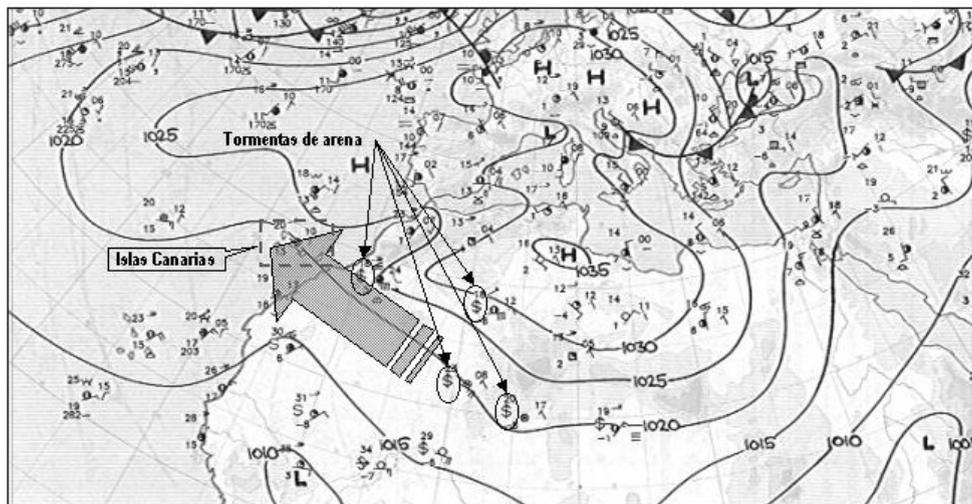
La concreción en las medidas de polvo sahariano es un objetivo que pretende nuestra línea de investigación y cuyos primeros resultados son los que aquí se exponen.

3. EL MÉTODO

El primer objetivo de esta comunicación es exponer los métodos y técnicas de detección y muestreo del polvo. Para ello se combina el análisis tradicional de los mapas del tiempo, que habitualmente se realiza desde la climatología sinóptica, con métodos estadísticos que validan la clasificación establecida junto con la medida de la cantidad y composición química del polvo que llega hasta las islas.

En el análisis sinóptico, son conocidas las configuraciones isobáricas que dan lugar a la llegada de las masas de aire sahariano (DORTA, 1999 y FONT TULLOT, 2000). Habitualmente se producen, durante el invierno, por el flanco meridional de un anticiclón localizado en el Mediterráneo occidental (península Ibérica, Suroeste de Europa, o Magreb), o bien por una entrada en cuña del anticiclón atlántico hacia esta región, acompañado, en ocasiones, por una depresión relativa en la costa africana. En el verano, la responsable de este tipo de tiempo, es la depresión térmica continental sahariana cuando se dispone de manera zonal (FONT TULLOT, 2000). Normalmente el desierto del Sáhara mantiene una atmósfera enturbada por la presencia de un elevado número de partículas muy ligeras de arena, pero el transporte de las mayores cantidades de este material litogénico se produce cuando se generan tormentas de arena en el Sáhara occidental (figura 2). Una vez levantada la arena por la turbulencia que crea la tormenta es susceptible de ser desplazada en función de la disposición de los diferentes centros de presión y acarreada hasta grandes distancias que, en algunos casos, suponen muchos miles de kilómetros llegando, incluso, hasta el Caribe y manteniéndose hasta más de una semana en la atmósfera durante su transporte (MIDDLETON, 1997). Existen estudios sobre la llegada de polvo de origen sahariano a regiones como el norte y el centro de Europa (FRANZEN, 1989; LITTMANN, 1991), la cuenca mediterránea (RAPP y NIHLÉN, 1991; NIHLÉN y MATTSSON, 1989), etc. En la actualidad el número de referencias bibliográficas es más que considerable, como señalan algunos autores (MIDDLETON, 1997).

Para la recogida del polvo sahariano, cuyos datos se emplean en este trabajo, se han instalado captadores de alto volumen en las cumbres de la isla de Gran Canaria, a una altitud aproximada



FUENTE: Boletín Meteorológico Europeo

Figura 2: Situación sinóptica con una advección de aire sahariano sobre Canarias el día 26 de febrero de 2000

de 1.900 m. La serie con la que se cuenta hasta la fecha sólo es de algo más de 6 meses, desde el 30 de octubre de 2001 hasta la actualidad y presenta algunas pequeñas lagunas por diversos motivos como averías, lluvia intensa, etc. La medición y el análisis del polvo, se lleva a cabo en el Departamento de Química de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Entre los años 1997 y 1998 se realizó una primera campaña (TORRES; HERNÁNDEZ; GELADO y COLLADO, 2002), en el seno de un proyecto de investigación denominado CANIGO (Canary Islands, Azores, Gibraltar Observations), financiado por la UE, por medio del cual se han obtenido los primeros datos de carga de aerosol mineral en la atmósfera canaria. Una de sus principales conclusiones es que la distribución estacional de los episodios de polvo sahariano es muy similar a las de las situaciones sinópticas antes expuestas. Es decir, un máximo en el invierno y un mínimo en la primavera y principios del verano. En este sentido es previsible que la correlación de las dos bases de datos permita inferir el comportamiento del polvo a largo plazo. En esa línea se enmarca el proyecto de investigación en el que se inserta esta comunicación.

En esa primera campaña de recogida de polvo se obtienen datos importantes sobre la cantidad de material particulado que puede depositarse en el área de Canarias, tanto en su superficie continental como oceánica. Así se señala una deposición anual muy notable llegando a $20 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}$ en el periodo de estudio (TORRES, 2000). Esto supone que entrarían en las aguas superficiales de la región de estudio un total de 1,7 millones de toneladas de polvo mineral por año, aunque también se señala una gran irregularidad entre los dos años analizados, lo cual obliga a estudiar una serie más larga.

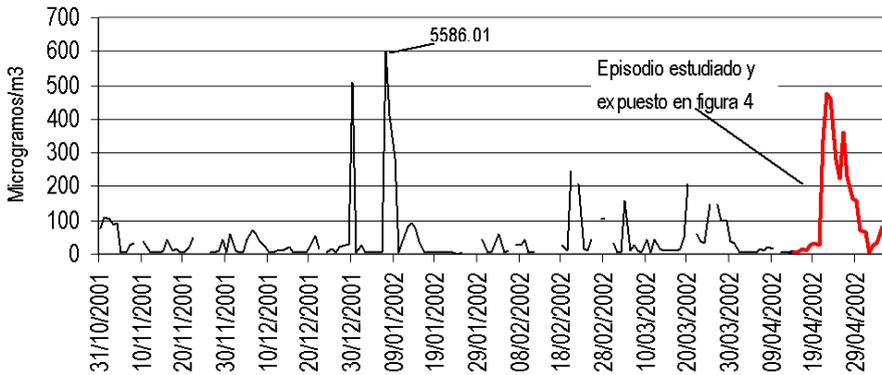


Figura 3: Resultados de los muestreos de polvo sahariano en Gran Canaria (31 de octubre de 2001 al 6 de mayo de 2002)

4. RESULTADOS: LA ENTRADA DE POLVO SAHARIANO DE ABRIL DE 2002

El segundo objetivo de este trabajo es la exposición de un ejemplo concreto de una advección de aire sahariano, para lo que se analizará un episodio de abril de 2002.

La serie de 6 meses de recogida de polvo sahariano con la que se cuenta en la actual campaña, muestra una cantidad media de $86,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$, aunque con picos muy considerables durante el establecimiento de advecciones de aire del Sáhara. Esa media tan elevada en realidad posee una importante distorsión como consecuencia de una entrada masiva de material litogénico el día 6 de enero de 2002. En esa fecha se registraron $5586,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor probablemente similar al registrado justamente tres años antes, el 7 de enero de 1999 y ya estudiado (CRIADO y DORTA, en prensa). Esos registros pueden llegar a reducir la visibilidad a menos de 500 metros en algunos puntos de las islas. Estos volúmenes de polvo no son habituales, pero pueden darse con relativa facilidad.

Sin embargo, el objeto de estudio de este trabajo, es mostrar las advecciones de polvo más habituales, que son las entradas secas, las cuales suponen en cantidad total un porcentaje muy superior. Por ello se ha elegido un episodio de intensidad moderada ocurrido a finales de abril de 2002.

Habitualmente, en los días de predominio del régimen de los vientos alisios la atmósfera se mantiene muy limpia con una visibilidad en la costa superior a los 20 km. Con nuestros datos resulta que durante estas fechas la cantidad media de polvo en la atmósfera se sitúa, en $24,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en las fechas de predominio de aire sahariano el valor es más de 8 veces superior, $202,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y la visibilidad media, como ya veremos, no alcanza los 10 km. En este sentido, los máximos se producen en un episodio puntual el 30 de diciembre de 2001, entre los días 6 y 15 de enero, entre el 20 y 22 de febrero, el 20 de marzo y entre el 21 y el 29 de abril de 2002. En todos ellos se superaron los $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la fecha de mayor intensidad (figura 3).

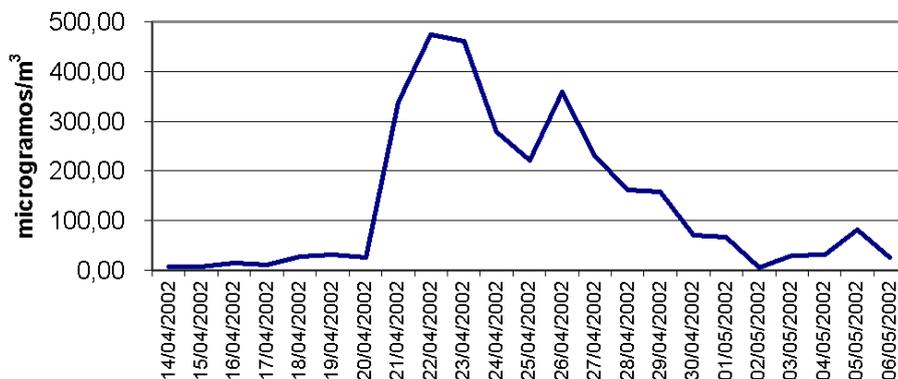


Figura 4: Cantidad de polvo en suspensión en la estación del Pico de la Gorra (Gran Canaria) en un episodio de invasión de aire sahariano en abril de 2002)

Como ya se ha señalado la mayor intensidad en cuanto a la calima se registró en enero, pero el episodio más duradero ha sido el de abril (resaltado en la figura 3), que pasamos a comentar a continuación.

La primavera, como ya se ha citado, es la estación de menor frecuencia en cuanto a la entrada de masas de aire sahariano, sin embargo no está libre de estas situaciones y precisamente su anormalidad hace que las advecciones sean mucho más claras y estén mejor delimitadas que en el resto del año, en el que las situaciones mixtas o de transición son relativamente numerosas.

El episodio que se expone a continuación se desarrolló a finales del mes de abril de 2002. En esos días se registró una importante entrada de polvo que se muestra en la figura 4. Los valores máximos se alcanzaron al comienzo, los días 22 y 23, con 474,8 y 461,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

El inicio se produjo en la madrugada del 20 al 21 de abril de una manera brusca, como se puede apreciar en los datos de visibilidad del aeropuerto de Gando, el observatorio más cercano al emplazamiento en el que se encuentran los captadores de alto volumen. Se aprecia, de manera lógica, una elevada correlación con la concentración de polvo sahariano (figuras 4 y 5). A las 7:00 horas de la mañana del segundo día la visibilidad ya era sólo de 9 km frente a los 20 km a las 18:00 horas del día anterior. A lo largo del episodio se muestran valores inferiores a los 5 km, lo que refleja la intensidad de la calima.

Los días previos los mapas del tiempo señalan situaciones de claro predominio del régimen de los vientos alisios. El 17 de abril el archipiélago se encuentra bajo la influencia del anticiclón de las Azores y con una circulación zonal en altura (figura 6). Situación que va evolucionando con una cuña anticiclónica que penetra hacia Europa central cuyo eje finalmente se desplaza hacia el noreste y queda, en superficie sobre la península de Jutlandia y cerca del cabo San Vicente en altura (día 20). La entrada de aire sahariano queda ya reflejada el día 21, cuando aumenta la potencia del

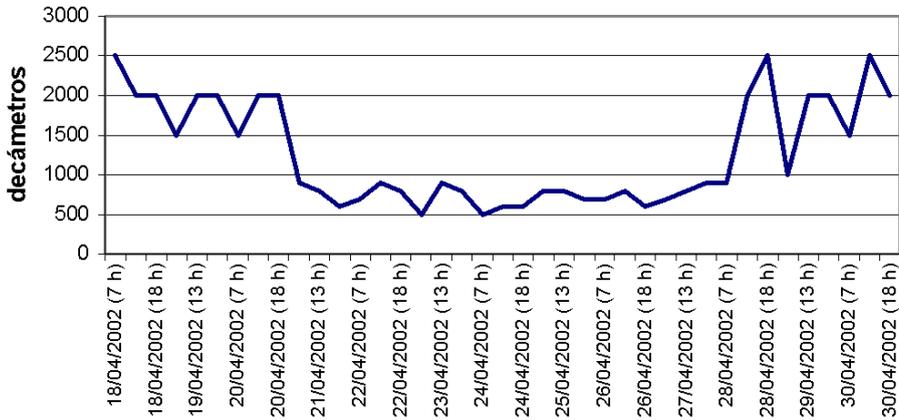


Figura 5: Visibilidad en el aeropuerto de Gando (Gran Canaria) en abril de 2002. (Fuente: INM)

citado centro de altas presiones y se forma una baja relativa sobre la costa africana muy cerca del archipiélago.

Esta disposición isobárica implica la canalización de un flujo de aire desde el desierto cargado de polvo en suspensión que se mantiene en los días siguientes hasta que entre el 26 y 27 se restablece la circulación del alisio, aunque los niveles de polvo en la atmósfera se mantendrán moderadamente altos algunas horas más, como se aprecia también en la visibilidad de Gando. Esto podría indicar una cierta inercia en la desaparición del polvo, de manera que después del cambio de tiempo aún permanece la atmósfera turbia algunas horas o, incluso, días.

Los datos de las estaciones meteorológicas ponen de relieve, de manera patente, el cambio de tiempo (tabla 1), en especial en los valores de la humedad relativa en el aeropuerto de Los Rodeos, el observatorio de primer orden siempre más sensible a la entrada de las masas de aire continental africano en Canarias (DORTA, 1999). Tanto en este elemento como en el viento, se observa la importante transformación que experimentó el tiempo atmosférico sobre las islas en esos días de abril de 2002, así como también la finalización de la advección sahariana antes de que se limpiase totalmente la atmósfera sobre las islas en consonancia con la inercia a la que antes hacíamos referencia.

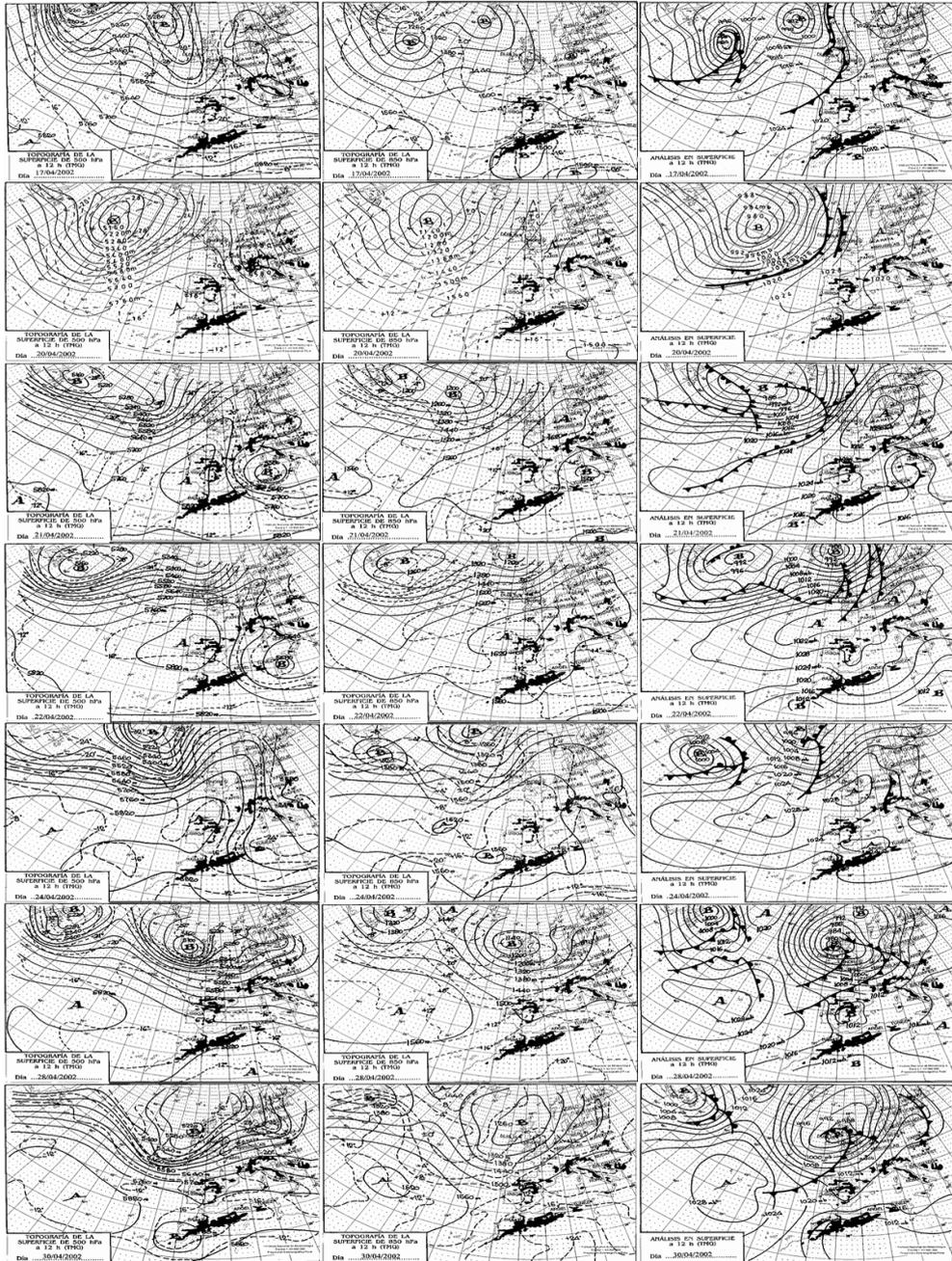


Figura 6: Situaciones sinópticas a finales de abril de 2002: Por filas, días 17, 20, 21, 22, 24, 28 y 30. (Izquierda: 500 hPa; centro: 850 hPa; derecha: superficie. Fuente: INM)

Tabla 1: Comportamiento de algunos elementos climáticos durante la advección de aire sahariano de abril de 2002. (Tmáx: Temperatura máxima; H13h: Humedad a las 13 horas; Hmed: Humedad media; V1C: Frecuencia del viento, en horas, del primer cuadrante; V2C: Frecuencia del viento del segundo cuadrante; V3C: Frecuencia del viento del tercer cuadrante; V4C: Frecuencia del viento del cuarto cuadrante. Fuente: INM).

Fecha	Los Rodeos							S/C de Tenerife		Gando	
	Tmáx	H13h	Hmed	V1C	V2C	V3C	V4C	Tmáx	Hmed	Tmáx	Hmed
18-04-2002	15,5	85	85	0,0	0,0	0,0	24,0	22,6	55	22,1	60
19-04-2002	16,8	70	78	0,0	0,0	0,0	24,0	22,2	55	22,6	60
20-04-2002	17,8	68	78	0,5	0,0	0,0	23,5	23,8	55	23,2	59
21-04-2002	20,0	78	85	0,0	0,0	1,5	22,5	29,4	56	25,8	64
22-04-2002	26,4	35	34	0,0	22,8	1,2	0,0	28,2	46	30,4	35
23-04-2002	25,8	30	32	0,0	24,0	0,0	0,0	28,8	39	31,6	26
24-04-2002	23,6	44	40	0,0	24,0	0,0	0,0	26,8	44	27,6	28
25-04-2002	26,4	21	30	0,0	18,0	4,0	1,8	24,7	60	24,2	69
26-04-2002	21,4	66	66	0,0	0,5	2,3	21,2	26,2	59	22,9	69
27-04-2002	21,6	65	82	0,0	0,0	0,2	23,8	24,1	65	22,4	67
28-04-2002	21,8	64	79	0,0	0,0	1,2	22,8	24,8	60	22,8	67
29-04-2002	16,4	69	80	0,0	0,0	0,0	24,0	23,7	58	23,2	60
30-04-2002	17,0	70	84	0,0	0,0	0,0	24,0	22,6	58	23,6	56

5. CONCLUSIONES

La llegada de polvo sahariano a las Islas Canarias, como consecuencia del establecimiento de disposiciones isobáricas que favorecen el transporte de masas de aire tropical continental, es uno de los rasgos más destacados del clima de toda esta región, llegando a suponer cerca del 25 % de las fechas del año.

Sin embargo, a pesar de su importancia, no es hasta fecha muy reciente cuando se comienzan a realizar las primeras mediciones, las cuales ponen de relieve el notable volumen de material litogénico que llega a las islas, así como la relevancia de la atmósfera como principal aporte de algunos nutrientes como el hierro a las aguas superficiales oceánicas.

Los episodios de polvo sahariano se repiten con relativa frecuencia a lo largo del año, siendo más numerosos en invierno y más escasos en primavera, aunque es en esa época cuando mayor es el contraste con respecto a la masa de aire tropical marítima que supone el régimen de los vientos alisios y, por tanto, son situaciones muy bien delimitadas, como la acontecida a finales de abril de 2002.

A través de este episodio se ha mostrado el cambio de tiempo que suponen las advecciones de aire tropical continental y la entidad del aporte de polvo, contribuyendo así a profundizar en el conocimiento del clima de las Islas Canarias. En este sentido, la medición y el análisis del polvo

sahariano a largo plazo permitirá analizar las tendencias anuales o ciclos interanuales existentes, comprobar su estacionalidad, determinar la influencia de la altitud en la recogida del polvo y establecer el balance entre las entradas por deposición seca y húmeda en la región.

La estrecha correlación que parece existir entre los datos de los observatorios meteorológicos y la concentración de material particulado en la atmósfera, aunque teniendo siempre en cuenta un cierto retraso en la retirada total del material eólico, puede permitir un análisis a muy largo plazo lo que contribuiría al estudio sobre el calentamiento global y el cambio climático en el archipiélago canario.

6. REFERENCIAS

- BARBEAU, K.A. y MOFFETT, J.W. (1998): Dissolution of iron oxides by phagotrophic protests: using a novel method to quantify reaction rates. *Environ. Sci. Technol.*, 32, pp. 2969-2975.
- BENNINGER, L.K. y DODGE, R.E. (1986): Fallout plutonium and natural radionuclides in annual bands of the coral *Monastrea annularis*, St. Croix, U.S. Virgin Islands. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 50, pp. 2785-2797.
- CRIADO, C. y DORTA, P. (en prensa): An unusual blood rain over canary islands (Spain). The storm of january 1999. (enviado y recibido a *Journal of arid environment*).
- DORTA, P. (1999): *Las invasiones de aire sahariano en Canarias*. Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación del Gobierno de Canarias y Caja Rural de Tenerife, Santa Cruz de Tenerife.
- DEUSER, W.G., BREWER, P.G., JICKELLS, T.D. y COMMEAU, R.F. (1983): Biological control on the removal of abiogenic particles from the surface ocean. *Science*, 219, pp. 388-391.
- FONT TULLOT, I. (1950): Las invasiones de aire caliente africano en el Archipiélago Canario. *Revista de Geofísica*. Vol IX, nº 36, pp. 334-349.
- FONT TULLOT, I. (2000): *Climatología de España y Portugal*. Ediciones Universidad de Salamanca, Salamanca.
- FRANZÉN, L. (1989): A dustfall episode on the Swedish West Coast, October 1987. *Geografiska Annaler*, 71 A (3-4), pp. 263-267.
- GRUBER, N. y SARMIENTO, J.L. (1997): Global patterns of marine nitrogen fixation and denitrification. *Global Biogeochem. Cycl.*, 11, pp. 235-266.
- HYDES, D.J. (1983) Distribution of aluminium in waters of the North East Atlantic 25°N to 35°N. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, pp. 967-973.
- JICKELLS, T.D. (1995): Atmospheric inputs of metals and nutrients to the oceans: their magnitude and effects. *Mar. Chem.*, 48, pp. 199-214.
- KREMLING, K. (1985): The distribution of cadmium, copper, nickel, manganese and aluminium in surface waters of the open Atlantic and the European shelf area. *Deep-Sea Res.*, 32, pp. 531-555.

LITTMANN, T. (1991): Recent african dust deposition in West Germany. Sediment characteristics and climatological aspects. *Catena Supplement*, 20, pp. 57-73.

MARTÍN VIDE, J. y LLASAT, M.C. (1991): Las lluvias de barro: análisis estadístico de una serie de 43 años en Barcelona. *Geographica*, 28, pp. 161-173.

MARZOL JAÉN, M.V. (1993): Tipificación de las tres situaciones atmosféricas más importantes de las Islas Canarias. *Revista de Historia Canaria*. Homenaje a la Dra. Marrero. La Laguna, pp. 79-95.

MIDDLETON, N. (1997): Desert dust. En *Arid Zone Geomorphology. Process, Form and Change in Drylands*. Ed. David S.G. Thomas, Wiley, Chichester.

NIHLÉN, T. and MATTSSON, J.O. (1989): Studies on eolian dust in Greece. *Geografiska Annaler*, 71 A (3-4), pp. 269-274.

PYE, K. (1987): *Aeolian dust and dust deposits*. Academic Press. London.

RAPP, A. and NIHLÉN, T. (1991): Desert dust-storm and loess deposits in North Africa and South Europe. *Catena Supplement*, 20, pp. 43-55.

SCOTT, R. H. (1900): Note of a remarkable dust haze experienced at Teneriffe, Canary Islands, february 1898. *Royal Meteorological Office*. pp. 33-36.

STATHAM, P.J. y BURTON, J.D. (1986): Dissolved manganese in the North Atlantic Ocean 0-35°N. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 79, pp. 55-68.

TORRES PADRÓN, M^A.E. (2000): *Impacto de las entradas eólicas en aguas del Océano Atlántico Central*. Tesis Doctoral, Dpto. de Química de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

SCHÜTZ, L. (1980): Long range transport of desert dust with special emphasis on the Sahara. *Annals of the NY Academy of Sciences*, 338, pp. 515-532.

TORRES PADRÓN, M.E.; HERNÁNDEZ-BRITO, J.J.; GELADO-CABALLERO, M.D. AND COLLADO-SÁNCHEZ, C.: Variability of dust inputs to the CANIGO zone. *Deep Sea Research* (en prensa, aceptado 2001).

http://jwocky.gsfc.nasa.gov/aerosols/today_aero.html