

FRECUENCIA, ESTACIONALIDAD Y TENDENCIAS DE LAS ADVECCIONES DE AIRE SAHARIANO EN CANARIAS (1976-2003)¹

P. Dorta*; M^a.D. Gelado**; J.J. Hernández**; P. Cardona, C. Collado**; S. Mendoza*,
M^a.J. Rodríguez**; V. Siruela** y M^a.E. Torres**

* Departamento de Geografía. Universidad de La Laguna

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

RESUMEN

Las masas de aire sahariano, acompañadas habitualmente por polvo en suspensión, afectan con asiduidad a las Islas Canarias y sus manifestaciones más extremas suponen un riesgo climático de primer orden. En este trabajo se expone cual es la frecuencia concreta, qué resultados muestran las primeras mediciones de material litogénico y qué tendencias indican los análisis realizados mediante combinación de Climatología Sinóptica y análisis estadístico para una serie de 28 años.

Palabras clave: Aire sahariano, calima, riesgo climático, Canarias.

RESUMÉ

Les masses d'air saharien, accompagnées habituellement par de la poussière en suspension, affectent assidûment les Iles Canaries et ses manifestations plus extrêmes supposent un risque climatique de premier ordre. Dans ce travail on expose quelle est la fréquence concrète, quels sont les résultats des premières mesures de matériel lithogénique et quelles sont les tendances qui indiquent les analyses effectuées par combinaison de Climatologie Synoptique et l'analyse statistique pour une série de 28 années.

Mots clef: Air saharien, calima, risque climatique, les Iles Canaries.

ABSTRACT

The advections of Sahara air masses, normally associated with dust-haze, affects often to the Canary Islands. The strongest events are an important climatic hazard. The study

1 Esta investigación ha sido financiada con un proyecto de investigación (nº 2001/086) de la Dirección General de Universidades del Gobierno de Canarias y con un Proyecto de la Unión Europea (CLIMAAT), INTERREG IIIB, MAC2.3/A3.

of a 28 years serie allows to get conclusions about the frequency, the litogenic material features and the tendencies. The method used combine the statistical analysis together with Synoptic Climatology.

Key words: Saharan air, dust, climatic risk, Canary Islands.

1. Introducción

La cercanía del desierto del Sáhara implica que Canarias se vea afectada, con frecuencia, por las masas de aire cálidas y muy secas que se sitúan sobre ese inmenso territorio. Además, el Sáhara mantiene habitualmente una atmósfera enturbada por la presencia de partículas muy ligeras de arena que son fácilmente transportables a grandes distancias y que suponen, para el archipiélago, un aporte muy considerable de material litogénico.

El aire sahariano posee una importancia crucial en el clima de las Islas, hasta tal punto que su frecuencia es similar a la de las jornadas de inestabilidad. Además, en los casos de mayor intensidad, constituye un claro riesgo climático para numerosos aspectos socioeconómicos. Especialmente cuando estas advecciones se traducen en fuertes olas de calor. Entre sus consecuencias más representativas y ya constatadas están la propagación de los incendios forestales —casi el 95% de la superficie calcinada en las islas se produce bajo situaciones saharianas de elevadas temperaturas (Dorta, 2001)—, o graves pérdidas en el sector agrícola (Dorta, 1995). Asimismo, el material particulado que suelen acarrear las invasiones saharianas hace aumentar los casos de enfermedades respiratorias (García et al, 2001) y crea dificultades en las comunicaciones aéreas². Sin embargo, aunque estas advecciones supongan uno de los principales rasgos del clima de Canarias, y han sido ya anotadas desde muy antiguo (Scott, 1900), su estudio científico —aunque existían algunos antecedentes anteriores (Font Tullot, 1950)—, es relativamente reciente, comenzando a principios de los años 90. Los rasgos generales han sido ampliamente expuestos en diversas publicaciones así como algunos de sus efectos más destacados (Dorta, 1990, 1991, 1999).

Por otro lado, el desierto del Sáhara, como manantial de polvo atmosférico, representa un importante factor del clima de toda esta región, y el transporte de ese material mineral ha sido ya suficientemente analizado a escala planetaria, demostrándose los grandes desplazamientos que se originan desde esta fuente hasta distancias de miles de kilómetros. En este sentido existe una amplia bibliografía que analiza el traslado desde todos los desiertos del planeta de ingentes cantidades de polvo litogénico (Middleton, 1997; Arimoto, 2001), no sólo el transporte ocasionado por el Harmattan sobre el golfo de Guinea (Afeti y Resch, 2000), sino también hasta regiones como Europa central y septentrional (Franzen, 1989; Littmann, 1991), el Medirerráneo (Rapp y Nihlén, 1991; Nihlén y Mattsson, 1989), Europa oriental (Borbély-Kiss, et al, 2004) o, incluso, el Caribe y el Amazonas (Arimoto, 2001). Asimismo, diversos investigadores han confirmado la relación entre la pluma de polvo del Sahara y la química del Atlántico superficial (Staham y Burton, 1986; Hydes, 1983; Kremling, 1985). En esta línea se han realizado algunos estudios en aguas canarias (Torres-Padrón, 2002).

La investigación que aquí se presenta aporta algunas novedades y asienta ciertas cuestiones que ya habían sido anunciadas pero de las que no se tenían análisis exhaustivos

² Además, aunque cada vez con menos frecuencia, las entradas saharianas son responsables de la llegada de plagas de langosta a las islas, como la ocurrida a finales de noviembre de 2004.

ni datos suficientes. Aún así se trata de una investigación abierta puesto que es un tema complejo que requiere la recopilación de más datos, sobre todo si se persigue el objetivo de un estudio inserto en un más que probable cambio climático.

2. Objetivos y método

Existe, en la opinión pública canaria, la idea general de que las advecciones de aire del Sáhara y la calima que llevan asociada son más frecuentes cada día, lo cual se trasluce en todos los medios de comunicación que, además, señalan algunos de los últimos episodios como de intensidad extrema. Sin embargo, como indica Almarza (2001: 38) sólo un análisis detallado de la serie histórica, permitirá obtener conclusiones sobre la auténtica rareza de cualquier episodio meteorológico extraordinario.

En este sentido, el principal objetivo que se persigue en la investigación es poder establecer la frecuencia y la estacionalidad de estas jornadas con el fin de obtener un calendario de este tipo de tiempo así como el análisis de las tendencias en los últimos 28 años. Para ello es necesaria la selección de las fechas de aire sahariano en Canarias y, por tanto, la validación de un modelo sinóptico-estadístico de clasificación de situaciones atmosféricas. Un segundo objetivo es mostrar los primeros resultados de la recogida de material litogénico que se ha venido realizando en los últimos años.

Ya hay un antecedente directo de este trabajo pero con una serie considerablemente inferior (sólo 10 años) (Dorta, 1999). Se trata, por tanto, de dar un paso más al ampliar la serie y al concretar la selección de estas situaciones así como incorporar, como se ha mencionado, un estudio preliminar del polvo sahariano.

La metodología empleada se basa en la combinación de un análisis de los mapas del tiempo elaborados por el Instituto Nacional de Meteorología y un estudio estadístico de datos meteorológicos de todas las jornadas con el fin de seleccionar las fechas de predominio de aire tropical continental. Se pretende realizar una clasificación de jornadas en función de la presencia o no de aire sahariano sobre el archipiélago. Esta clasificación entraña una serie de fases:

El estudio sinóptico supuso, en primer lugar, un análisis diario con el fin de realizar una agrupación inicial de las fechas saharianas. Ésta se hizo en función de un catálogo de configuraciones barométricas que son favorecedoras de la entrada de aire tropical continental (Dorta, 1999, Font Tullot, 2000 y Dorta et al, 2002). Se trata de tipos fundamentalmente anticiclónicos en cuanto a frecuencia (figura 1).

En segundo lugar, una vez realizada esta clasificación se procedió a validarla y completarla mediante un análisis estadístico. La validación nos permitió eliminar la mayor parte de la subjetividad que acarrea toda clasificación de tipos de tiempo sinópticos y establecer las bases matemáticas en las que se fundamentó la clasificación posterior con el fin de completar la realizada con los mapas del tiempo.

Por lo que respecta a la parte climática, la serie con la que finalmente se ha podido contar ha sido de 28 años, desde el 1 de enero de 1976 al 31 de diciembre de 2003, periodo más que suficiente para poder constatar el comportamiento mensual y estacional de estos episodios, aunque probablemente no del todo satisfactorio para análisis de tendencias temporales a largo plazo.

En un principio pretendíamos elaborar una investigación de los últimos 50 años, pero el estado de los datos meteorológicos hizo que tuviésemos que reducir la serie de estudio. Para ello era imprescindible poder operar con información meteorológica a diferentes niveles altitudinales, por lo que era necesario tener acceso a las estaciones de primer orden de la isla de Tenerife o bien a los datos de los sondeos termodinámicos de Santa Cruz de

Tenerife, único observatorio con este tipo de información en todo el archipiélago. Sabíamos que las estaciones de Tenerife comenzaron a funcionar antes de 1950 —fecha inicialmente prevista para el comienzo de la toma de datos—. Sin embargo, hay que señalar, que la recogida de información ha sido muy complicada debido a las lagunas existentes. Lagunas que, en principio, no eran esperables al tratarse de observatorios de la red meteorológica nacional principal³. Es el caso de Izaña, observatorio de primer orden que comienza su funcionamiento en enero de 1916 y que deja de dar información entre enero de 2001 y diciembre de 2002. Asimismo, el aeropuerto de Los Rodeos también sufre un cambio de ubicación en 1976, de manera que se interrumpe la serie y ya no es homogénea desde el punto de vista estadístico y, por consiguiente, no puede usarse en toda su extensión⁴. Para paliar el primer problema, el corte de Izaña, se ha recurrido a la información de los sondeos termodinámicos de Santa Cruz de Tenerife en los últimos diez años aproximadamente⁵. Asimismo, en octubre de 2002 el INM procede al traslado del punto de lanzamiento del globosonda⁶, de manera que también se rompe la serie estadística. Por tanto, se ha vuelto desde esa fecha, a la información de las estaciones de tierra.

En definitiva, la base de datos para la clasificación ha estado compuesta por la información de los sondeos y las variables de tierra de las estaciones meteorológicas de Santa Cruz de Tenerife, aeropuerto de Los Rodeos e Izaña según aparece representado en el cuadro I.

Existen multitud de clasificaciones sinópticas, algunas de las cuales muy recientes (Fernández, Martín Vide y Mestre, 2003). En todas ellas la meta consiste en obtener la mayor objetividad posible. Es por eso por lo que la Estadística Multivariada supone un apoyo esencial en cualquier análisis de tipos de tiempo.

Así, en cuanto a la técnica elegida, hemos de señalar que existen numerosos antecedentes bibliográficos que emplean la Estadística Multivariada como complemento a la Climatología Sinóptica reciente (Rasilla, 2003a; Rasilla, 2003b) y dentro de aquella las denominadas técnicas de «clasificación automática» (Galán, 1991) entre las que destaca el Análisis Discriminante (Hufty, 1981; Galán, 1984, 1991; Rasilla, 1995), con la que se habían obtenido muy buenos resultados en estudios anteriores (Dorta, 1999).

En nuestra investigación, para la selección de las fechas con aire sahariano como tipo de tiempo, probamos varios modelos estadísticos y diversas variantes en cada uno de ellos. Sin embargo, después de numerosas pruebas y a pesar de que los resultados finales apenas variaban, optamos por la Regresión Logística Binaria puesto que, como explicaremos más adelante, es más robusta desde un punto de vista matemático-estadístico. Además, se clasifica un porcentaje de fechas ligeramente superior que con el Análisis Discriminante porque utiliza menos variables en su ecuación y, por último, el porcentaje que se observa de casos bien clasificados es también algo más elevado. Esta técnica se ha empleado recientemente en distintas disciplinas como la Medicina (Domínguez y Aldana, 2001) y también la Climatología (Armengot, 2002).

3 Parte de los datos de los años 50 están aún sin informatizar.

4 Estaríamos, en realidad, ante dos observatorios diferentes. Aunque desde 1971 se sitúa en la cabecera 30 del aeropuerto, la ubicación actual —desde 1976- probablemente pueda dar lugar a modificaciones en los resultados al haber pequeñas diferencias en latitud, longitud y altitud de la estación. Es necesario realizar un análisis exhaustivo de los emplazamientos para comprobar posibles inhomogeneidades en los datos.

5 Aunque dicha información también cuenta con lagunas, de manera que se ha complementado datos de las estaciones de tierra

6 La distancia entre el punto anterior y el actual es de unos 30 kilómetros a lo que habría que añadir un emplazamiento topográfico totalmente distinto.

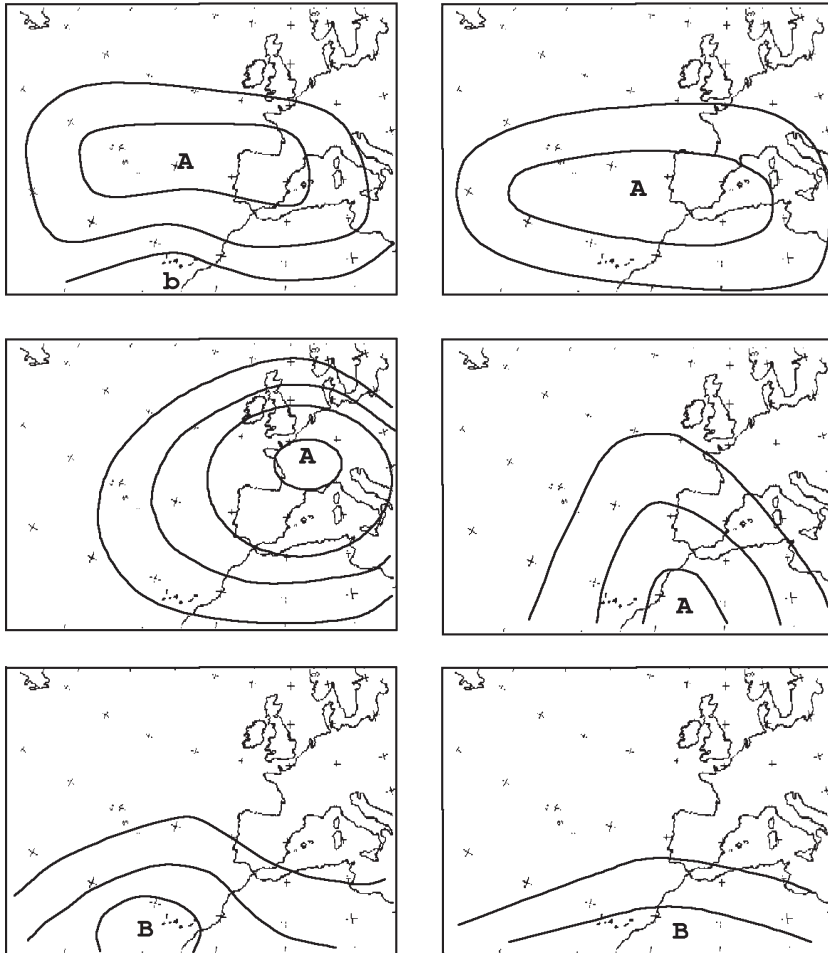


FIGURA 1: Principales tipos de configuraciones sinópticas superficiales que dan lugar a entradas de masas de aire sahariano en Canarias.
Elaboración propia.

Se trata de un tipo de regresión —conocida asimismo como análisis logit— habitualmente utilizado para predecir y explicar una variable categórica binaria (dos grupos) (Hair, Anderson, Tatham y Black, 2001). Su utilización fundamental se dirige hacia el análisis de variables dependientes o fenómenos que son *dicotómicos* por naturaleza.

De esta manera, los objetivos del modelo serían los siguientes:

- Determinar la existencia o ausencia de relación entre una o más variables independientes y la variable dependiente.
- Medir la magnitud de dicha relación.
- Estimar o predecir la probabilidad de ocurrencia de un suceso.

Cuadro I
VARIABLES Y PERIODOS ANALIZADOS PARA LOS ANÁLISIS ESTADÍSTICOS*

Observatorios	Estaciones de tierra (Izaña, Los Rodeos y S/C de Tenerife)	Sondeos termodinámicos
Periodos	01/01/1976–11/11/1992 y 08/10/2002–31/12/2003	12/11/1992–07/10/2002
Variables	Viento por cuadrantes y calmas	Velocidad del viento en superficie, a 925, a 850, a 700 y a 500 hPa
	Horas de sol	Dirección del viento en superficie, a 925, a 850, a 700 y a 500 hPa
	Humedad media	Temperatura en superficie, a 925, a 850, a 700 y a 500 hPa
	Presión máxima y mínima en Izaña	Humedad relativa en superficie, a 925, a 850, a 700 y a 500 hPa
	Presión máxima y mínima en Santa Cruz de Tenerife	Presión en superficie, a 925, a 850, a 700 y a 500 hPa
	Temperatura máxima Temperatura mínima	

*Todos son valores diarios

La formulación del modelo es algo diferente a la Regresión Lineal Múltiple, ya que se establece en términos de la razón de posibilidades (*odds ratios*), que es el cociente entre la probabilidad del estado 1, frente al estado 0⁷.

El modelo selecciona el conjunto de variables que predice de forma óptima los cambios en la *odds ratio*. Para ello utiliza como procedimiento de estimación el de Máxima Verosimilitud, es decir, maximizando la certeza de que un suceso ocurra —en nuestro caso la pertenencia a un tipo de tiempo—, asignando cada jornada a los grupos establecidos por el investigador (aire sahariano o aire marítimo). Se trata de un proceso iterativo con el fin de encontrar la estimación más probable de los coeficientes (Hair, Anderson, Tatham y Black, 2001). No se requieren los supuestos de normalidad, homocedasticidad y linealidad que

7 como se presenta en la siguiente ecuación:
$$\frac{P(Y=1)}{1-P(Y=1)} = E^{B_0+B_1X_1+\dots+B_nX_n}$$

- E = base de los logaritmos neperianos.
- B₀ = término constante.
- B_j = pesos de las variables predictoras incluidas en el modelo (j = 1,2,...,p).
- Y = variable dependiente.
- X_j = variables independientes.
- A partir de ahora llamamos a P (Y = 1) como P.

Si transformamos logarítmicamente los dos términos de la función, obtenemos:

$$\ln (P / (1-P)) = B_0+B_1X_1+ \dots +B_nX_n.$$

la transformación logarítmica linealiza la función, proporcionando un modelo similar al de la Regresión Lineal Múltiple.

son necesarios en la Regresión Lineal Múltiple o en el Análisis Discriminante. Por tanto, repetimos, es de una gran robustez estadística.

En la aplicación de la regresión se emplearon los análisis de los dos periodos —sondeos y estaciones de tierra— señalados anteriormente y también se hicieron de manera simultánea con años comunes, es decir se aplicaron los análisis a las mismas fechas utilizando los sondeos por un lado y las estaciones de tierra por otro, con el fin de comprobar las diferencias que existían en las clasificaciones. Los resultados demostraron que apenas había diferencias —siempre inferiores al 3% en la asignación de fechas— entre ambos por lo que se pudo validar el empleo de fuentes numéricas distintas para periodos también distintos.

En definitiva, una vez analizados los mapas del tiempo, se aplica la Regresión Logística para comprobar si la clasificación sinóptica establecida es adecuada. Además, la técnica utilizada nos ofrece una agrupación definitiva de las fechas no asignadas por la dificultad que entrañan algunos campos de presión o por ser situaciones de transición muy difíciles de encuadrar. La agrupación se realiza en función de los resultados que hemos obtenido en la clasificación sinóptica previa.

En tercer lugar, como cotejo a la selección de las variables, también se ha procedido al análisis de la prensa de los días analizados para comprobar las fechas de mayor virulencia en cuanto a temperaturas, a intensidad de la calima y también en cuanto a los efectos de las situaciones atmosféricas de origen sahariano.

Por último, en cuarto lugar, se ha recurrido, como complemento puntual al método sinóptico, al análisis de las retrotrayectorias facilitadas por la *Nacional Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), siendo fundamentales para completar la clasificación de algunas fechas no asignadas ni con los mapas del tiempo, ni con los sondeos, ni con las estaciones de tierra así como para cotejar las clasificaciones.

Una vez que contamos con todas las jornadas asignadas podemos comenzar a trabajar con los días seleccionados como de aire sahariano (figura 2). Estas situaciones son claramente diferentes a las otras dos de predominio de aire marítimo (figura 3).

Por otro lado, aunque no es un objetivo primordial de este trabajo, también se pretenden mostrar los resultados preliminares de la medición del polvo sahariano, en cuanto a cantidades, realizado en los últimos años.

Para la recogida del material litogénico sahariano se instalaron captadores de alto volumen (MCV) en las cumbres de la isla de Gran Canaria, a una altitud aproximada de 1.900 m. separados del suelo para minimizar la influencia de materia particulada local. La determinación de la cantidad se ha hecho por análisis gravimétrico cuando la matriz del filtro empleado es fibra de vidrio y por medida del contenido de aluminio en los filtros de papel.

La serie con la que hemos contamos es discontinua puesto que procede de dos campañas distintas. La primera, entre 1997 y 1998 (Torres-Padrón, Hernández-Brito, Gelado-Caballero, y Collado-Sánchez, 2002), y la segunda con datos desde el 30 de octubre de 2001 hasta el 31 de diciembre de 2003⁸. Esta última serie presenta, además, algunas lagunas por diversos motivos como averías, obras en las cercanías de la estación medidora que han provocado contaminación en las muestras, lluvia intensa, etc. La falta de datos supone aproximadamente un 16% de los días. En ambos casos la medición y el análisis del polvo, se ha llevado a cabo en el Departamento de Química de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

8 En la actualidad continuamos con las mediciones.

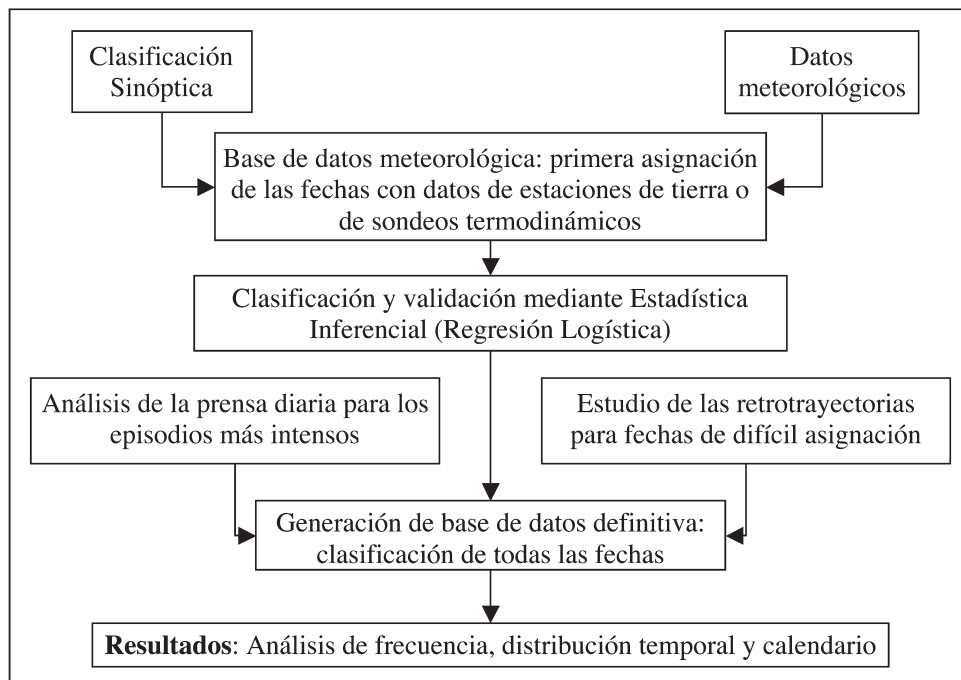


FIGURA 2: Esquema resumen del procedimiento seguido para la selección de las fechas de aire sahariano.

3. Resultados

Los resultados obtenidos, una vez realizada la clasificación sinóptica con los mapas meteorológicos del INM y su posterior análisis con la Regresión Logística binaria, son los que expondremos en este apartado.

La aplicación de la Regresión Logística certifica una agrupación correcta promedio del 97,8 % de los días, lo que corrobora estadísticamente la clasificación sinóptica y hace muy fiable la agrupación posterior de los días que no habían podido ser asignados. El modelo estadístico cumple con los objetivos perseguidos, como se pone de manifiesto en su utilidad, su buen ajuste y en su significación estadística. Así lo indica, por ejemplo, el cotejo con una muestra de retro trayectorias ofrecidas por la NOAA que reflejan recorridos de las masas saharianas hasta las islas en los días seleccionados como de aire tropical continental.

Para conseguir una agrupación óptima se decidió realizar análisis estacionales. Éstos, como se ha citado, presentan una buena asignación en los grupos aunque con ciertas diferencias en los resultados. En general, en primavera, verano y otoño se obtiene una mejor clasificación, mientras que en invierno se reduce algo el porcentaje de casos bien asignados (cuadro II). El motivo de esta diferencia radica en el mayor o menor contraste termohigrométrico entre las masas de aire que afectan a las islas en las distintas estaciones del año así como en la circulación más simple de los meses cálidos frente a los fríos. En la primera cuestión, los meses del invierno muestran poca diferencia entre la masa de aire tropical marítima y tropical continental —sahariana— puesto que el desierto no sufre el

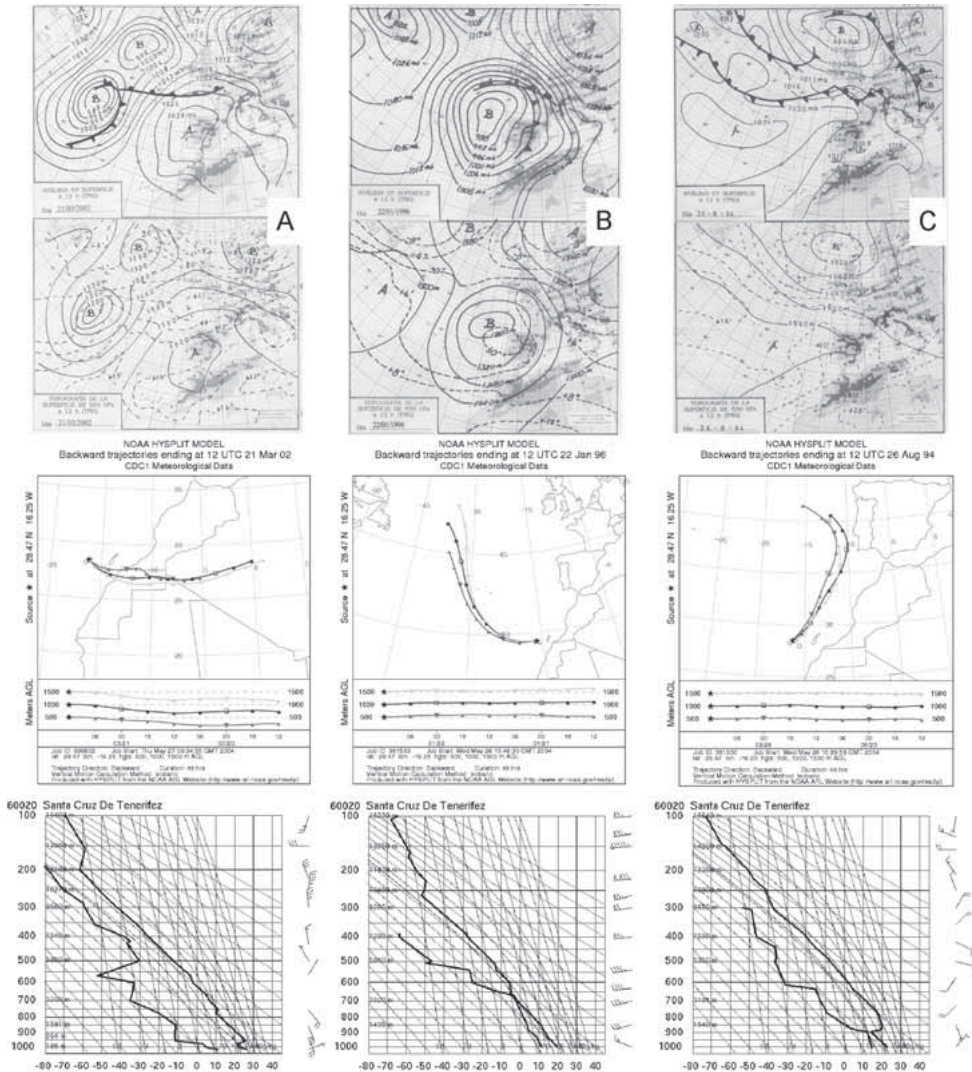


FIGURA 3: Las tres situaciones atmosféricas tipo en Canarias (Marzol, 1993): A) advecciones saharianas (aire Tc); B) Inestabilidad (aire Pm); C) Régimen de alisios (aire Tm). Fuente: INM; Draxler, R.R. and Rolph, G.D. 2003. HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>), NOAA Air Resources; Wyoming University.

caldeamiento propio de la temporada más cálida del año. En la segunda, la masa de aire polar apenas tiene representatividad desde mediados de la primavera hasta mediados del otoño, en especial entre mayo y septiembre, pero si está muy presente en la época más fría.

Cuadro II
**RESULTADOS DE LA CLASIFICACIÓN DE LOS DÍAS POR SITUACIONES
 ATMOSFÉRICAS EN CANARIAS CON LAS VARIABLES DE TIERRA Y LOS SONDEOS
 TERMODINÁMICOS: PORCENTAJE DE DÍAS BIEN CLASIFICADOS**

Análisis	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Anual
VARIABLES DE TIERRA	98.5	98.9	96.8	95.4	97.4
SONDEOS	99.1	98.6	100.0	95.8	98.4

Elaboración propia.

Una vez asignadas todas las fechas, la serie de 10.227 días —entre 1976 y 2003—, ofrece una rica información sobre la distribución mensual, estacional e interanual de las jornadas saharianas:

- La primera característica es su irregularidad. El número de días de aire sahariano en Canarias representa alrededor de un 22% de las jornadas del año, pero existe un máximo en 1983 en el que 1 de cada 3 jornadas tuvo advección de aire sahariano y un mínimo en 1976 con sólo un día de cada 7. La serie no indica una tendencia clara, pero se observa un máximo a principios de los 80 y una ligera disminución en los últimos años (figura 4).

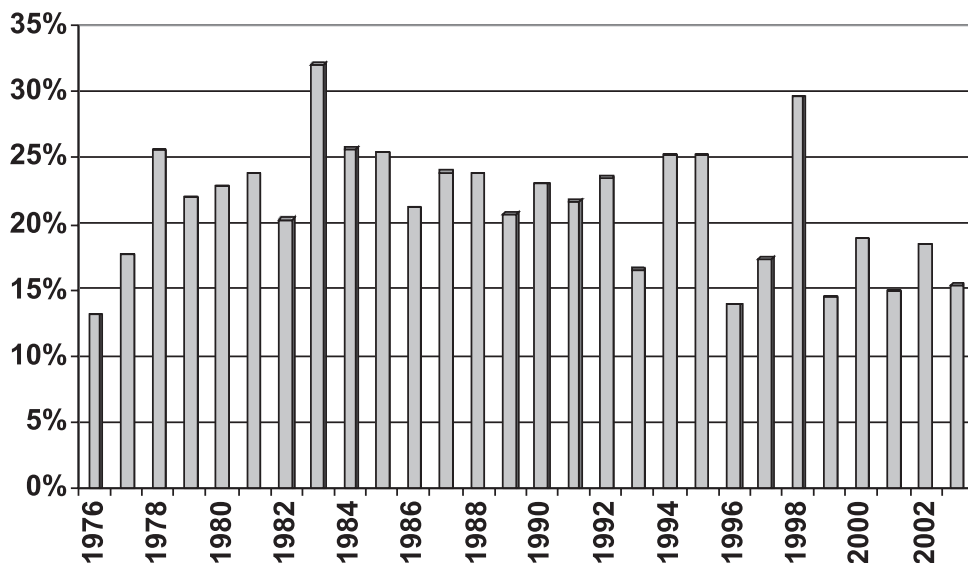


FIGURA 4: Porcentaje anual de días de aire sahariano (1976-2003).

Elaboración propia.

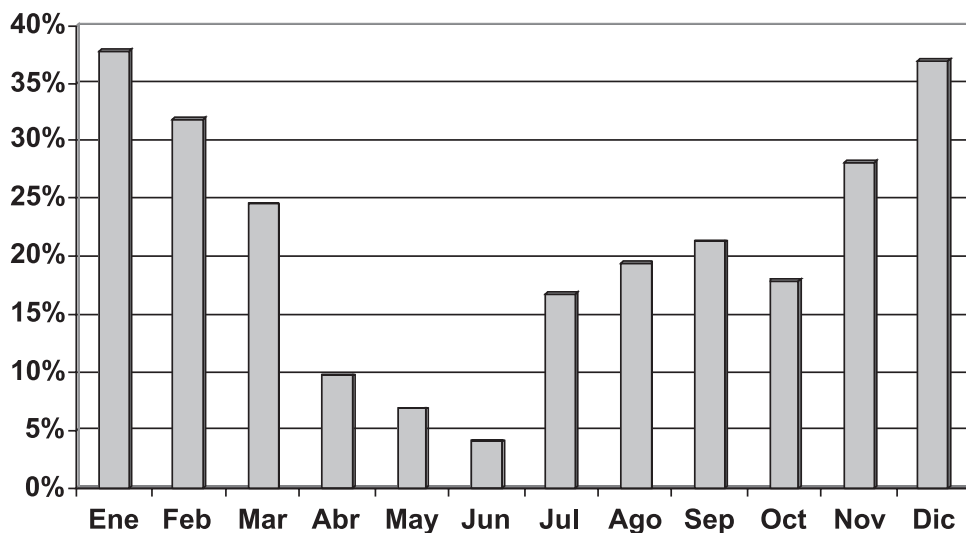


FIGURA 5: Frecuencia mensual de los días con predominio de aire sahariano en Canarias (1976-2003). Elaboración propia.

- Son más frecuentes en invierno —de diciembre a febrero— y menos desde mediados de la primavera hasta principios del verano, especialmente entre abril y junio (figura 5).
- Si analizamos el calendario realizado en función de la frecuencia diaria de las advecciones saharianas, una de la principales aportaciones de nuestra investigación (figura 6), se observa que:
 - Durante el mes de junio son muy raras este tipo de situaciones y presenta un mínimo claro —sólo 1 día al mes de media—, mínimo que también se da en la primera quincena de mayo.
 - En los últimos quince días de septiembre y durante el mes de octubre hay un mínimo secundario después de un máximo relativo desde la segunda quincena de julio hasta la primera de septiembre.
 - Son muy frecuentes en la segunda mitad de diciembre y la primera semana de enero y de febrero, periodos en los que existe una probabilidad de advección sahariana de un 50%.
- Al estudiar la distribución estacional de los días saharianos se comprueba, una vez más, que el invierno es el periodo de mayor frecuencia, de forma que de los 28 años analizados es así en 23 de ellos y en los cinco restantes lo es el otoño. Los casos extremos son 1983 y 1998 en los que la estación más fría se vio afectada por aire sahariano en más de un 50% de las jornadas; en sentido inverso, las primaveras de 1976 y los veranos de 1977 y 1997 no alcanzan el 2% de las fechas (Figura 7).
- Las tendencias estacionales muestran pocas cuestiones relevantes en relación a los datos anuales. Únicamente es de destacar el cambio producido en el verano y en especial en la primavera. Mientras que en aquél se marca un descenso lento y pau-

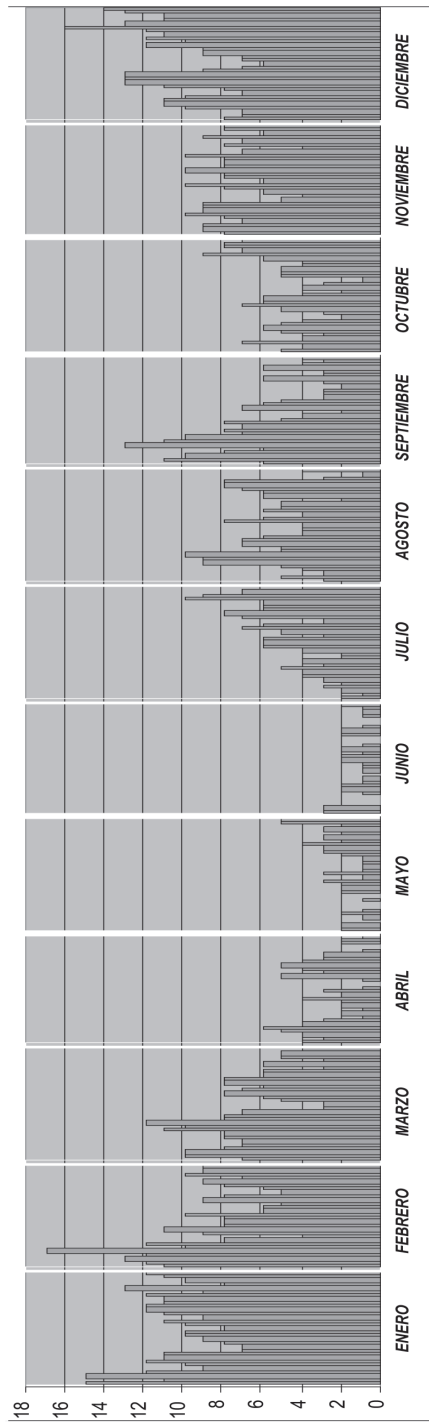


FIGURA 6. Calendario del número total de días de aire sahariano (1976-2003).
Elaboración propia.

latino en ésta se observa un leve aumento en época reciente, de manera que en los últimos 8 años, desde 1996 hasta 2003, siempre han sido más frecuentes las jornadas saharianas primaverales que las estivales, mientras que en los 20 primeros sólo en 7 ha ocurrido así. Es probable que este matiz estacional sí que se esté confirmando un cambio aunque resulta difícil afirmar, de forma categórica, que pueda relacionarse con el cambio climático global.

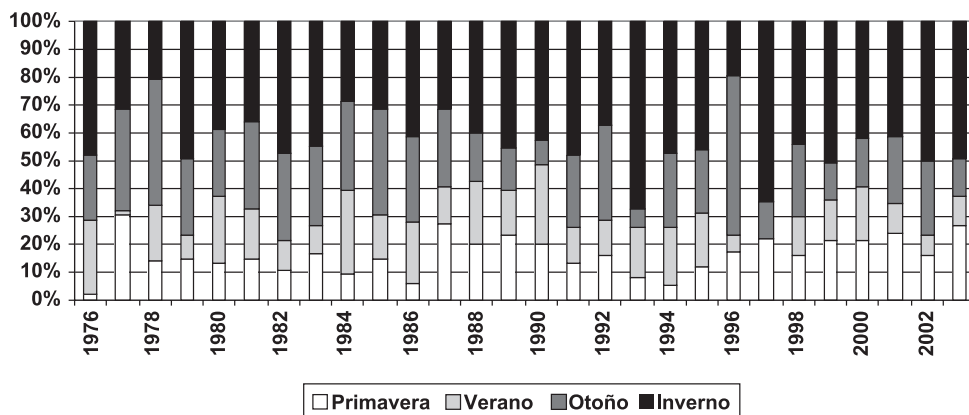


Figura 7: Evolución estacional del número de días con predominio de aire sahariano (1976-2003). Elaboración propia.

- Los episodios detectados son un total de 384, es decir, 14 al año (cuadro III), cifra casi idéntica a la obtenida en otros estudios (Dorta, 1999: 177). El invierno vuelve a ser la estación de mayor frecuencia, de manera que cada año se produce un promedio de 5 entradas saharianas, mientras que en primavera sólo arriban 2 episodios.
- Dichos episodios tienen duraciones muy variables, los más largos superan los 15 días y la mayor parte de los que sobrepasan las dos semanas se dan en otoño o invierno. En verano y en especial en primavera suelen ser cortos de no más de 4 ó 5 jornadas (cuadro III y figura 8).

Cuadro III
NÚMERO DE EPISODIOS DE AIRE SAHARIANO Y DURACIÓN MEDIA ESTACIONAL (1976-2003)

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Total
Número de episodios	68	71	105	140	384
Duración media (días)	4,3	4,8	5,3	6,9	5,2

Elaboración propia.

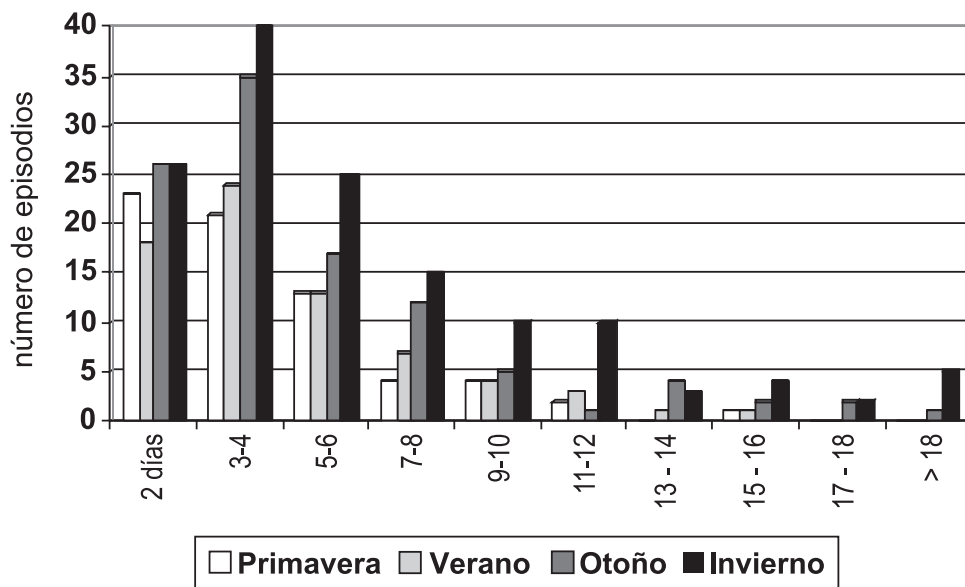


FIGURA 8: Duración estacional de los episodios de aire sahariano en Canarias (1976-2003). Elaboración propia.

Una cuestión de cierta importancia que se deja abierta para próximas investigaciones es la relación que existe entre el número de días de aire sahariano y los diferentes fenómenos de teleconexión meteorológica. Así, por ejemplo, parece que existe una cierta correspondencia entre la Oscilación del Pacífico Sur (ENSO) y el total de fechas saharianas (figura 9). Los años con un índice SOI (*Southern Oscillation Index*⁹) negativo poseen un elevado número de días de predominio de aire sahariano, mientras que los años positivos se corresponden con menos invasiones de aire tropical continental. Esto es especialmente evidente en 1983 y 1998, los dos años de mayor intensidad de El Niño en los últimos 30. El descenso de fechas saharianas en época reciente, al que antes se hacía referencia, también podría ser achacable precisamente a un índice positivo casi continuado hasta principios de 2002. La mejor prueba del grado de relación existente es que tomando el SOI del mes de enero la correlación de *Pearson* con el número de jornadas saharianas de cada año es de -0.67 .

En otro orden de cosas, también las mediciones de material particulado litogénico señalan una serie de características generales sobre la distribución interanual, estacional e intermensual de las advecciones de aire sahariano. El transporte de las mayores cantidades de este material litogénico se origina, sobre todo, cuando aparecen las tormentas de arena en el sector occidental del desierto. La turbulencia que generan levanta las partículas más finas del suelo que son desplazadas a grandes distancias y se mantienen hasta más de una semana en la atmósfera durante su transporte (Middleton, 1997).

En este punto es necesario señalar que la localización de la estación de medición de polvo, en las cumbres de la isla de Gran Canaria, a 1.900 m., hace que se detecten algunas

9 Extraído del *International Research Institute for Climate Prediction*.

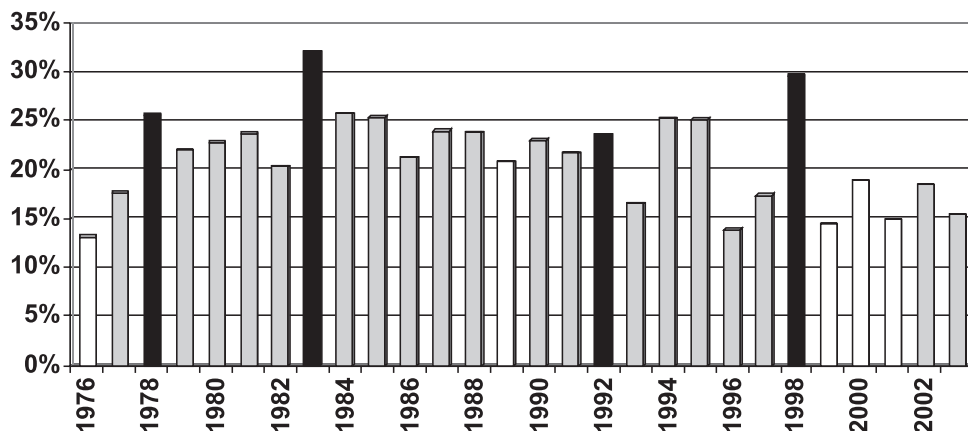


FIGURA 9: Porcentaje de días de aire sahariano y relación con la ENSO (1976-2003).

Nota: en negro aparecen los años que comienzan con un índice negativo más intenso ($SOI < -3$) y en blanco los de uno positivo ($SOI > 1.5$).

Elaboración propia.

entradas desplazándose en altitud y que no se observan por debajo de la inversión térmica habitual, en especial en los meses cálidos¹⁰. Aún así, el modelo de selección de fechas saharianas permite una buena correlación de los datos de las clasificaciones con los de aerosoles saharianos.

También se plantea el problema de la distinción entre el porcentaje de ese material que es propiamente de origen sahariano del que se presenta en fechas relativamente limpias, puesto que siempre existe alguna cantidad de aerosoles en suspensión y su origen puede ser múltiple¹¹. En el cuadro IV aparecen reflejados los principales estadísticos de la cantidad de polvo recogido. Se observa, por ejemplo, que el total de material litogénico que llega hasta las islas es muy elevado, con valores medios diarios al año que superan los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo el invierno la época en la que el transporte es más relevante, de manera que en esos meses es aproximadamente un 50% superior que en el resto del año. Además, aunque la inmensa mayoría del polvo se produce como deposición seca, en algunas ocasiones es la precipitación la que lo arrastra en forma de lluvia de barro o de sangre (Smith, 1922; Criado y Dorta, 2003), precipitaciones que sí parece que poseen mayor frecuencia en otras regiones, como es el caso del Mediterráneo español (Martín Vide y Llasat, 1991; Fiol, Guijarro y Fornós, 2001) donde, incluso, se señala un aumento en los últimos años (Querreda y Olcina, 1994; Montón y Querreda, 1997).

Si atendemos a las fechas seleccionadas como saharianas, es decir las asignadas por análisis sinóptico y validadas mediante la Regresión Logística, comprobamos la parte de ese material procedente del desierto que llega a bajos niveles hasta las islas. Sin embargo, también es cierto que no todas las entradas saharianas suponen aportes de polvo, puesto que para que estas se den es necesario que previamente haya habido un levantamiento del

¹⁰ Ya está funcionando una estación a baja altitud, con lo que se podrá solventar este problema, aunque su instalación es muy reciente.

¹¹ Únicamente 3 días de toda la serie analizada muestra valores de 0 y, evidentemente esas tres fechas no se encuentran clasificadas como de dominio de aire sahariano.

Cuadro IV
**PRINCIPALES ESTADÍSTICOS DE LA RECOGIDA DE POLVO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 POR ESTACIONES (1996-2003)***

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Media	40,84	44,21	44,82	68,02
Desviación estandar	69,64	58,95	91,42	300,85
Suma	12659,70	13306,92	13938,37	22449,51

* la serie consta de dos periodos, el primero desde 29 de noviembre de 1996 hasta el 13 de febrero de 1999 y el segundo desde el 30 de octubre de 2001 hasta el 31 de diciembre de 2003.

Elaboración propia.

material litogénico como consecuencia del intenso caldeoamiento del desierto y los consiguientes movimientos convectivos o, sobre todo, por la generación de tormentas de arena, como ya hemos señalado. Con la formación de estas tormentas en regiones próximas o relativamente próximas a Canarias, se producen entradas masivas de material litogénico, como la ocurrida el 26 de febrero de 2000 (Dorta et al., 2002; 17). Asimismo, las cantidades de polvo que pueden ser transportadas son muy variables. En síntesis, los resultados de las mediciones serían los siguientes:

- Durante las advecciones de aire sahariano la cantidad de material particulado quintuplica al total recogido cada día con respecto al de las fechas de predominio de aire marítimo (cuadro V).
- La mayor diferencia en las medias se produce en el invierno, aunque no es significativa la diferencia entre las estaciones del año.
- La intensidad de los episodios es muy variable en cuanto a la cantidad de polvo transportado. Existen picos muy elevados aunque poco frecuentes que muestran entradas con valores superiores a los $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (figura 10), como es el caso de febrero de 1998 —especialmente intenso y largo—, octubre/noviembre de 1998, febrero de

Cuadro V
**ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DEL POLVO ATMOSFÉRICO EN FUNCIÓN
 DE LA MASA DE AIRE DOMINANTE**

	todo	Aire marítimo	Aire sahariano
Media	49,34	27,76	129,30
Mediana	18,45	15,18	58,17
Desviación estándar	167,36	39,13	344,24
Suma ¹²	62354,49	26620,42	34784,92

Elaboración Propia.

12 Existe una pequeña diferencia en la suma por la imposibilidad de clasificar algunas fechas.

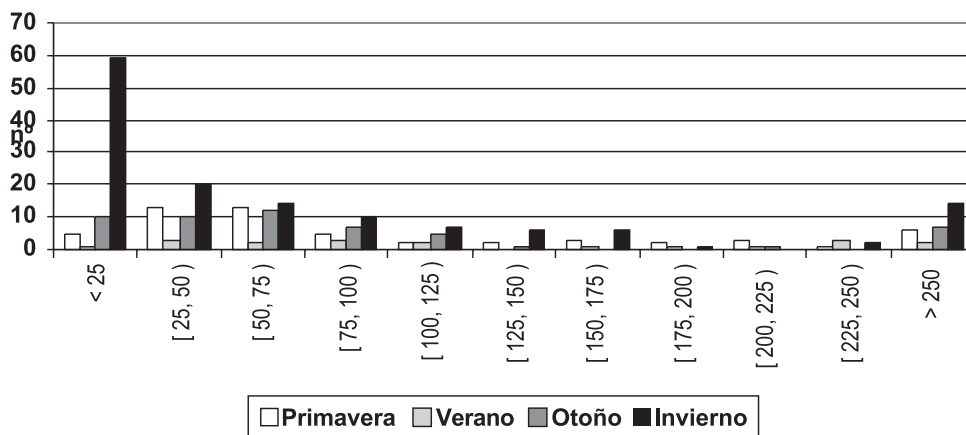


FIGURA 10: Distribución de frecuencias de los días con polvo sahariano en función de la estación del año (1976-2003).
Elaboración propia.

1999, enero de 2002, abril de 2002 —ya analizada (Dorta et al., 2002)— o febrero de 2000 (figura 10 y cuadro VI). Una vez más se observa que la mayor parte de esos episodios corresponden al invierno.

- Las cantidades medias recogidas durante las fechas de predominio de aire sahariano —tropical continental—, son muy irregulares interanualmente por tanto con la serie con la que contamos sólo se pueden mostrar los rasgos más generales. En los años más o menos completos se observan valores entre 10.000 y 20.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en total. Éstos confirman el mínimo de la primavera y el máximo invernal, sobre todo en enero y febrero (figura 11). Sin embargo se recuerda la importancia de los escasos episodios de gran intensidad, lo que denota la necesidad de una serie de mayor longitud.
- En este sentido, las correlaciones establecidas indican que cada día de aire sahariano presenta una media de 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que supondría una disminución en los últimos años al igual que en el número de días. Sin embargo, las entradas masivas de polvo producen distorsiones muy considerables de los valores medios en especial en el invierno, con desviaciones típicas iguales a cuatro veces la media (cuadro VIII), y con valores extremos que han superado los 1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 5 ocasiones, lo que sólo permite hacer una aproximación de la evolución a largo plazo.
- Resulta evidente que las cantidades de material particulado que llegan desde el continente africano suponen un sustancial aporte a las aguas oceánicas, siempre muy superior al que se deposita sobre las islas. Para la región de Canarias las estimaciones realizadas hasta la fecha señalan cantidades totales entre 1 y 2,4 millones de toneladas (Torres-Padrón et al., 2002: 3463), con un tamaño medio de las partículas recogidas en los captadores de alto volumen de Gran Canaria que se sitúa entre 0,6 y 4,9 μm (Gelado et al., 2003: 157).

Cuadro VI
**PRINCIPALES ENTRADAS DE POLVO DE ORIGEN SAHARIANO A
 CANARIAS (DIC96-DIC03)**

Fecha de inicio	Fecha de finalización	Día de mayor intensidad	Cantidad máxima diaria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
30-ene-1997	07-feb-1997	31-ene-1997	340.0
10-feb-1997	14-feb-1997	13-feb-1997	300.0
10-feb-1998	11-mar-1998	12-feb-1998	1312.8
21-jun-1998	23-jun-1998	21-jun-1998	416.3
29-oct-1998	02-nov-1998	30-oct-1998	1143.4
06-dic-1998	21-dic-1998	12-dic-1998	314.9
02-feb-1999	05-feb-1999	03-feb-1999	1003.8
27-dic-2001	29-dic-2001	29-dic-2001	510.5
06-ene-2002	14-ene-2002	06-ene-2002	5586.0
21-abr-2002	25-abr-2002	21-abr-2002	474.8
03-oct-2002	07-oct-2002	04-oct-2002	401.9
28-feb-2003	10-mar-2003	01-mar-2003	492.9
12-dic-2003	27-dic-2003	12-dic-2003	306.7

1 Valor aproximado.
 Elaboración propia.

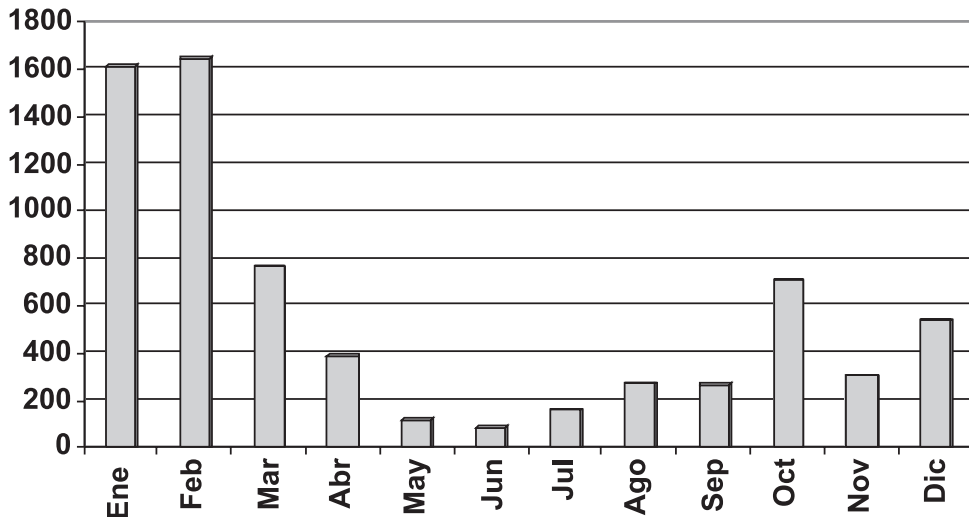
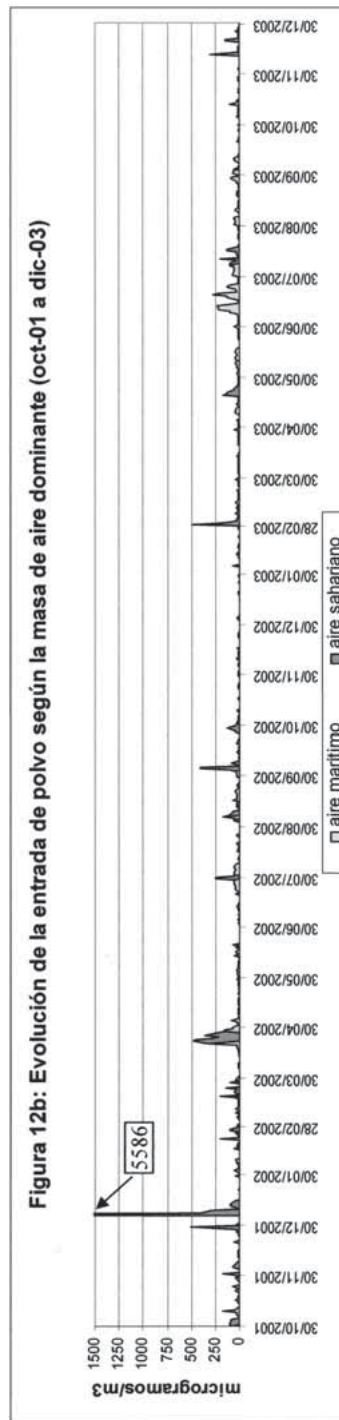
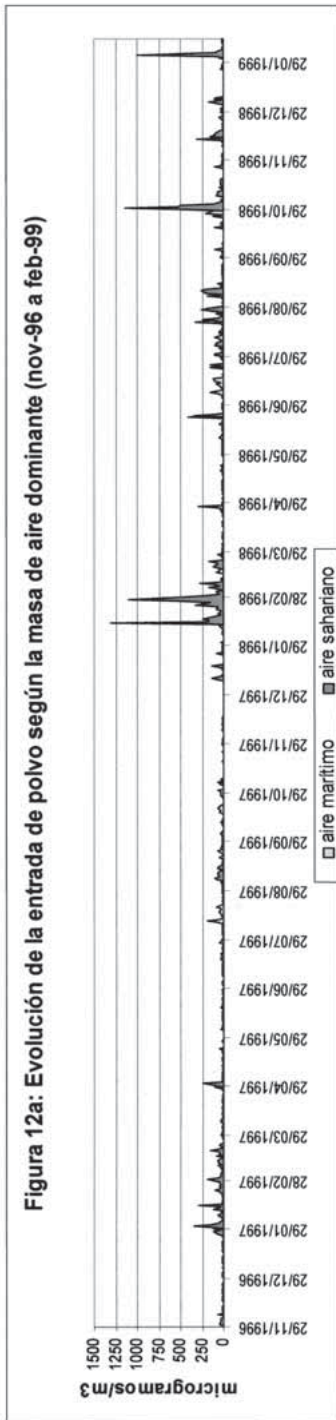


FIGURA 11: Promedio mensual de polvo sahariano en Gran Canaria durante los días de aire Tropical continental (1997-2003)*

*No hay datos desde marzo de 1999 hasta octubre de 2001.

Elaboración propia.



Elaboración propia.

Cuadro VII
ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LOS VALORES DIARIOS ESTACIONALES DEL MATERIAL PARTICULADO LITOGÉNICO SEGÚN LA MASA DE AIRE DOMINANTE

Estación	Masa de aire	Media	Mediana	Des. estandar	Suma
Primavera	Marítima	24,63	14,01	39,07	6255,83
	Sahariana	116,06	65,78	116,61	6383,08
Verano	Marítima	37,39	19,77	49,32	10506,84
	Sahariana	147,37	102,90	94,3	2800,07
Otoño	Marítima	27,25	16,37	32,42	6540,71
	Sahariana	123,18	65,2	190,65	6528,56
Invierno	Marítima	18,02	11,67	23,63	3317,04
	Sahariana	133,01	37,96	499,28	19074,05

S: aire sahariano. M: aire marítimo.

Elaboración propia.

4. Conclusiones y líneas de investigación abiertas

A través de toda esta investigación se ha profundizado en el estudio de las advecciones de aire sahariano y el abundante material litogénico transportado hasta el Archipiélago Canario.

Los principales problemas del estudio han derivado de la falta o no disponibilidad de datos meteorológicos adecuados así como de las averías en los aparatos de medición del polvo. A pesar de esta importante merma, creemos que los resultados finales son satisfactorios.

- Una de las principales conclusiones es que la Climatología Sinóptica, con el complemento de la Estadística Inferencial, representa una herramienta fundamental para distinguir diferentes situaciones atmosféricas de una manera relativamente simple. Gracias al empleo de técnicas como las señaladas es posible clasificar la totalidad de las jornadas que cuentan con información meteorológica. Elimina algunos de los problemas que plantea la Climatología Sinóptica tradicional: subjetividad en la asignación de los casos dificultad para clasificar los de transición entre dos tipos de tiempo, etc. El modelo estadístico cumple con los objetivos perseguidos, como se pone de manifiesto en su utilidad, su buen ajuste, su apoyo matemático y en su significación estadística.
- Las advecciones de aire sahariano son muy irregulares en su aparición, y poseen una frecuencia considerablemente elevada en el conjunto del año con valores porcentuales superiores 20% de las jornadas del año.
- El invierno es la época en que la recurrencia es sensiblemente mayor y los meses de abril a junio la de menor. En este último apenas se llega a 1 día de media cada año.
- Los datos indican una cierta relación entre el ENSO y las situaciones de predominio sahariano. Los años de mayor frecuencia se corresponden con los índices

negativos más intensos. Sería necesario profundizar en su estudio y también se debiera estudiar la NAO, constituyendo este tema una de las líneas de investigación abiertas.

- El modelo de selección de fechas saharianas permite correlacionar los datos de las clasificaciones con los de aerosoles saharianos, pero la gran irregularidad en los pulsos de polvo atmosférico hace que sólo sea posible, de momento, una aproximación al patrón de transporte de material litogénico. Sí es evidente que es en el invierno la estación en la que se concentra la mayor parte del polvo sahariano en las últimas decenas de años.
- Además, deben mejorarse las mediciones, es decir, aumentar las series de datos y completarse la red de medidores para poder establecer cantidades de material a diferente altitud. Dada la importancia de la inversión térmica en el clima de las islas y gracias a la experiencia acumulada a lo largo de estos últimos años, hemos comprobado que en ocasiones el polvo se mueve en capas a distintas altitudes y su detección resulta difícil si no se cuenta con controles simultáneos por encima y por debajo de la inversión térmica, puesto que ésta determina capas de aire considerablemente distintas.
- Hemos logrado construir una importante base de datos (campañas de observación, datos meteorológicos, noticias de prensa, retrotrayectorias) que puede usarse para diversas aplicaciones, en especial para estudios de riesgos climáticos puesto que sabemos su calendario y sus máximas intensidades en cuanto a temperatura y a cantidad de polvo transportado, riesgos que afectan en especial a la agricultura —sería interesante aplicar la base de datos para seguros agrarios, por ejemplo—, al transporte, la salud pública y al turismo.

En definitiva, creemos que se ha abierto una importante línea de trabajo en el complejo clima de esta región del planeta, en la que es necesario continuar puesto que se han obtenido resultados relevantes, aunque la propia investigación ha hecho surgir nuevas necesidades, en especial, las relativas al estudio de la escala de detalle tanto temporal como espacial.

5. Bibliografía

- AFETI, G.M. y RESCH, F.J. (2000): «Physical characteristics of Saharan dust near the Gulf of Guinea», en *Atmospheric Environment*, nº 34, pp. 1273-1279.
- ALMARZA, C. (2001): «Fenómenos climatológicos extremos», en *Física y Sociedad*, nº 12, pp. 38-41.
- ARIMOTO, R. (2001): «Eolian dust and climate: relationships to sources, tropospheric chemistry, transport and deposition», en *Earth-Science Reviews*, nº 54, pp. 29-42.
- ARMENGOT, R. (2002): *Las lluvias intensas en la comunidad valenciana*. MMA, Madrid.
- BORBÉLY-KISS, I., KISS, Á. Z., KOLTAY, E., SZABÓ, GY. Y BOZÓ, L. (2004): «Saharan dust episodes in Hungarian aerosol: elemental signatures and transport trajectories», en *Journal of Aerosol Science*, nº 35, pp. 1205-1224.
- CRIADO, C. y DORTA, P. (2003): «An unusual blood rain over canary islands (Spain). The storm of January 1999», en *Journal of Arid Environments*, nº 55, pp. 765-783.
- DOMÍNGUEZ, E. y ALDANA, D. (2001): «Regresión logística. Un ejemplo de su uso en endocrinología», en *Rev. Cubana Endocrinol*, nº 12 (1), pp. 58-64.
- DORTA, P. (1990): «Estado de la atmósfera en las olas de calor estivales en Canarias», en *Ería*, nº 23, pp. 205-211.
- DORTA, P. (1991): «Características climatológicas de las olas de calor estivales en Canarias», en *Alisios*, nº 1, pp. 7-20.

- DORTA, P. (1995): «Algunos efectos de las advecciones de aire cálido sahariano en Canarias», en *VI Colóquio Ibérico de Geografía*. Universidad de Oporto, pp. 833-839.
- 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.
- DORTA, P. (2001): «Aproximación a la influencia de las advecciones de aire sahariano en la propagación de los incendios forestales en la provincia de Santa Cruz de Tenerife», en *XVII Congreso de Geógrafos Españoles*, Oviedo, pp. 158-162.
- DORTA, P. et al. (2002): «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», en *El agua y el clima*, AEC, Palma de Mallorca, pp. 13-24.
- DORTA, P. et al. (2003): «Selección de tipos de tiempo en Canarias. Un ejemplo: las invasiones de aire sahariano», en *I Encuentro sobre Meteorología y Atmósfera de Canarias*, Santa Cruz de Tenerife, pp. 77-79.
- FERNÁNDEZ, A.; MARTÍN VIDE, J.; DÍAZ, Y. y MESTRE, A. (2003): «Aplicación de los procesos sinópticos objetivos a la península ibérica en otoño», en *Investigaciones Geográficas*, n^o 31, pp. 38-61.
- FIOL, L.; GUIJARRO, J.A. Y FORNÓS, J.J. (2001): «Las lluvias de barro en el Mediterráneo Occidental: el caso de Mallorca», en *Revista de Climatología*, vol. I, pp. 7-20.
- FONT TULLOT, I. (1950): «Las invasiones de aire caliente africano en el Archipiélago Canario», en *Revista de Geofísica*, Vol IX, n^o 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», en *Geografiska Annaler*, 71 A (3-4), pp. 263-267.
- GALÁN, E. (1984): «Aplicación del Análisis Discriminante en la distinción de situaciones ciclónicas y anticiclónicas en Madrid», en *Estudios Geográficos*, n^o 176, pp. 353-369.
- GALÁN, E. (1991): «Técnicas de clasificación automática en Climatología. Propuesta metodológica para una tipología de tipos de tiempos invernales en la España peninsular y Baleares», en *Alisios*, n^o 1, pp. 81-98.
- GARCÍA, J. et al. (2001): «Invasión de viento sahariano y su impacto en la asistencia sanitaria urgente», en *Emergencias*, n^o 13, pp. 372-376.
- GELADO, M^a.D. et al. (2003): «Caracterización del aerosol sahariano en Gran Canaria», en *I Encuentro sobre Meteorología y Atmósfera de Canarias*, Ministerio de Medio Ambiente, Santa Cruz de Tenerife, pp. 155-157.
- GOUDIE, A.S. y MIDDLETON, N.J. (2001): «Saharan dust storms: nature and consequences», en *Earth-Science Reviews*, n^o 56, pp. 179-204.
- GOUDIE, A.S. & MIDDLETON, N.J. (1992): «The changing frequency of dust storms throughout time», en *Climatic Change*, n^o 20, pp. 97-225.
- HAIR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; y BLACK W.C. (2001): *Análisis Multivariante*, Prentice Hall, Madrid.
- HYDES, D.J. (1983): «Distribution of aluminium in waters of the North East Atlantic 25°N to 35°N», en *Geochim. Cosmochim. Acta*, n^o 47, pp. 967-973.
- HUFTY, A. (1981): «Les types de temps à Alger (analyse multivariée)», en *Le Meteorologie*, Vie, Série n^o 26, pp. 93-109.
- KREMLING, K. (1985): «The distribution of cadmium, copper, nickel, manganese and aluminium in surface waters of the open Atlantic and the European shelf area», en *Deep-Sea Research*, n^o 32, pp. 531-555.
- KREMLING, K. y STREU, P. (1993): «Saharan dust influenced trace element fluxes in deep North Atlantic subtropical waters», en *Deep Sea Research*, n^o 40, pp. 1155-1168.
- LITTMANN, T. (1991): «Recent african dust deposition in West Germany sediment characteristics and climatological aspects», en *Catena Supplement*, n^o 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», en *Geographicalia*, n^o 28, pp. 161-173.

- MARZOL JAÉN, M.V. (1993): «Tipificación de las tres situaciones atmosféricas más importantes de las Islas Canarias», en *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.
- MONTÓN, E. y QUEREDA, J. (1997): *Hacia un cambio climático. La evolución del clima mediterráneo desde el siglo XIX*. Fundación Dávalos Fletcher, Castellón.
- NIHLÉN, T. and MATTSSON, J.O. (1989): «Studies on eolian dust in Greece», en *Geografiska Annaler*, nº 71 A (3-4), pp. 269-274.
- QUEREDA, J. y OLCINA, J. (1994): «Lluvias de barro en la vertiente mediterránea de la Península Ibérica», en *Investigaciones Geográficas*, nº 12, pp. 7-22.
- RAPP, A. y NIHLÉN, T. (1991): «Desert dust-storm and loess deposits in North Africa and South Europe», en *Catena Supplement*, nº 20, pp. 43-55.
- RASILLA, D. (1995): *Viento sur y efecto Föhn en la Cordillera Cantábrica*. Tesis Doctoral. Departamento de Geografía de la Universidad Autónoma de Madrid.
- RASILLA, D. (2003a): «Fuentes y métodos para la caracterización de ambientes meteorológicos o «tipos de tiempo», en *clima y calidad ambiental*, Martí Ezpeleta, A. (ed.), pp. 171-199. Universidad de Santiago de Compostela.
- RASILLA, D. (2003b): «Aplicación de un método de clasificación sinóptica a la Península Ibérica», en *Investigaciones Geográficas*, nº 30, pp. 6-45.
- SCOTT, R. H. (1900): «Note of a remarkable dust haze experienced at Teneriffe, Canary Islands, february 1898», en *Royal Meteorological Office*, pp. 33-36.
- SMITH, W.C. (1922): «Note on a fall of dust, «Blood rain» at Gran Canaria, 8th to 11th February 1920». Appendix A at the Bannerman, David, A. *The Canary Island, their History, Natural History an Scenary*, London.
- STATHAM, P.J. y BURTON, J.D. (1986): «Dissolved manganese in the North Atlantic Ocean 0-35°N», en *Earth. Planet. Sci. Lett.*, nº 79, pp. 55-68.
- TORRES PADRÓN, M.E.; HERNÁNDEZ-BRITO, J.J.; GELADO-CABALLERO, M.D. AND COLLADO-SÁNCHEZ, C. (2002): «Variability of dust inputs to the CANIGO zone», en *Deep Sea Research*, nº 49, pp. 3455-3464.

