

## FRECUENCIA, ESTACIONALIDAD Y TENDENCIAS DE LAS ADVECCIONES DE AIRE SAHARIANO EN CANARIAS (1976-2003)<sup>1</sup>

P. Dorta\*; M<sup>a</sup>.D. Gelado\*\*; J.J. Hernández\*\*; P. Cardona, C. Collado\*\*; S. Mendoza\*,  
M<sup>a</sup>.J. Rodríguez\*\*; V. Siruela\*\* y M<sup>a</sup>.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 aéreas<sup>2</sup>. 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

---

<sup>2</sup> 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 principal<sup>3</sup>. 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 extensión<sup>4</sup>. 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 aproximadamente<sup>5</sup>. Asimismo, en octubre de 2002 el INM procede al traslado del punto de lanzamiento del globosonda<sup>6</sup>, 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.

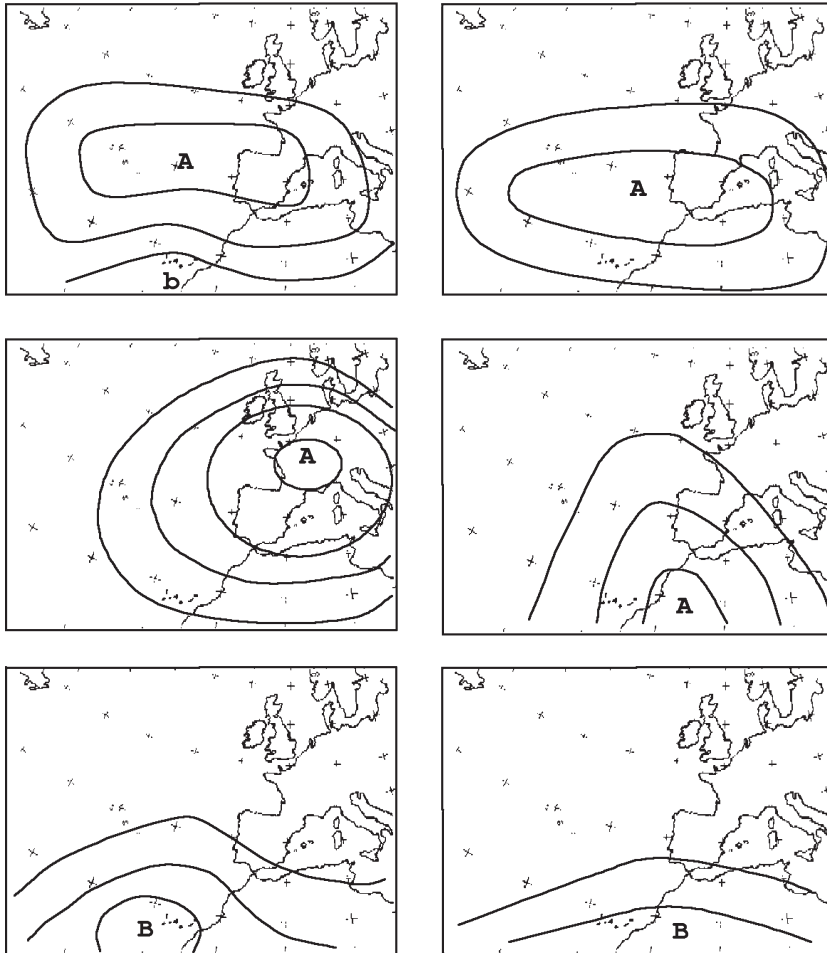


FIGURA 1: Principales tipos de configuraciones sinópticas superficiales que dan lugar a entradas de masas de aire sahariano en Canarias.  
Elaboración propia.

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 0<sup>7</sup>.

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.
- B<sub>0</sub> = término constante.
- B<sub>j</sub> = pesos de las variables predictoras incluidas en el modelo (j = 1,2,...,p).
- Y = variable dependiente.
- X<sub>j</sub> = 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 2003<sup>8</sup>. 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.

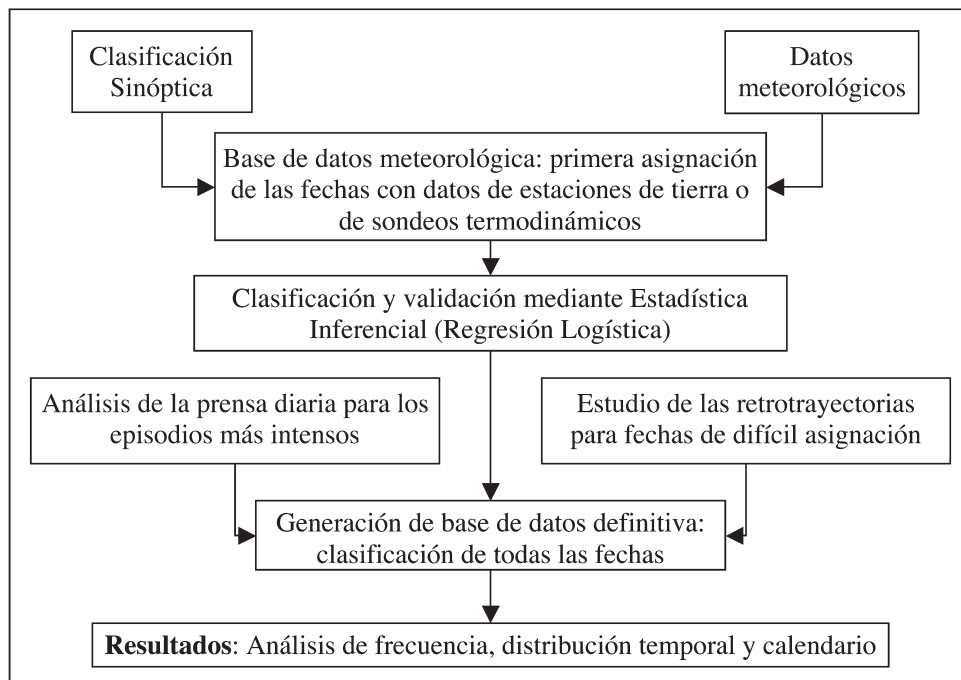


FIGURA 2: Esquema resumen del procedimiento seguido para la selección de las fechas de aire sahariano.

### 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