

CARACTERIZACIÓN DE LAS MASAS DE AIRE EN LA REGIÓN SUBTROPICAL SOBRE CANARIAS

Carlos J. Torres (1)
Emilio Cuevas (1)
Juan Carlos Guerra (2)
Virgilio Carreño (1)

(1) Observatorio Atmosférico de Izaña. INM
(2) Universidad de La Laguna

RESUMEN

Se ha realizado un estudio de la influencia de la *inversión del Alisio* y del transporte a larga distancia de masas de aire que afectan a Tenerife. Para caracterizar la *inversión del Alisio* se utilizó una serie larga de datos de sondeos y para conocer la procedencia de las masas de aire realizamos un análisis estadístico de *retrotrayectorias* isentrópicas para los mismos años. Los resultados obtenidos resaltan dos sistemas de circulación, uno en la baja troposfera libre y otro en la capa de mezcla marítima, bien diferenciados y prácticamente desacoplados. Así mismo queda patente el diferente comportamiento de las masas de aire procedentes de África en ambos niveles.

1. Introducción

La atmósfera de la región subtropical, en la que se encuentra Canarias, se caracteriza por una gran y persistente estabilidad. Esta cualidad viene determinada por dos características de la circulación atmosférica a gran escala. Una es la presencia de la rama descendente de la célula de Hadley alrededor de 30°N, la cual establece un régimen generalizado de subsidencia en la troposfera libre. La otra característica la constituye la existencia, durante prácticamente durante todo el año, de los vientos Alisios (NE) que soplan en los niveles más bajos de la troposfera sobre un océano relativamente frío (Figura 1). La inversión térmica asociada a estos vientos es probablemente la manifestación más clara y evidente de dicha estabilidad atmosférica, separando dos regiones bien diferenciadas: la capa de mezcla marítima en la baja troposfera y la troposfera libre por encima de ella. Dada su pronunciada orografía, la Isla de Tenerife (28°19'N, 16°29'W) es un lugar privilegiado para estudiar la *inversión del Alisio* y las características físico-químicas de las mencionadas masas de aire. El Instituto Nacional de Meteorología dispone de dos Observatorios emplazados en ambientes limpios, el de Izaña (IZO, 2367 m.s.n.m.) representativo de la troposfera libre, y el situado en el Faro de Punta del Hidalgo (PHO, a nivel del mar) en la costa noreste de la isla, representativo de masas de aire marítimas (Figura 2).

El análisis de los procesos de transporte que tienen lugar en estas dos regiones atmosféricas y el de su frontera, la capa de inversión asociada a los vientos Alisios, son de capital importancia para el estudio de diferentes componentes químicos y parámetros físicos dentro de lo que ampliamente es denominado como Vigilancia Atmosférica Mundial (Programa de Observación de la Organización Meteorológica Mundial), tal y como se desprende del trabajo de Cuevas (1995). Por otro lado, la *inversión del Alisio* también juega un papel muy importante en los numerosos y diversos programas de observación astrofísica, llegando a constituir un parámetro básico para caracterizar diariamente lo que se denomina "Calidad de Cielo" (Muñoz-Tuñón, Vernin y otros, 1997).

Dado que tanto la *inversión del Alisio* como la existencia de una doble circulación en la baja troposfera determinan en gran medida la meteorología regional, consideramos que el análisis de series largas de datos diarios de la inversión y de la procedencia de las masas de aire, que proporcionen valores normales o de referencia a lo largo del año, puede ser de enorme importancia y ayuda para las labores de predicción en esta región.

La inversión térmica en la atmósfera de Canarias ha sido objeto de varios estudios en los últimos cincuenta años. Fueron realizados de forma indirecta observando la capa de estratocúmulos o "Mar de Nubes" que se forma en el nivel de condensación (Font, 1956), o utilizando algunos sondeos puntuales (Huetz-de-Lemps, 1969), o bien se basaron en estadísticas de unos pocos años (Cuevas, 1995; Bustos, Cuevas y otros, 1998). En el presente trabajo se emplea para determinar la *inversión del Alisio*, una serie

larga de datos de sondeos (12 años) estadísticamente representativa, y se realiza un estudio objetivo de los parámetros que mejor la caracterizan.

Por otro lado, también existen trabajos relacionados con la procedencia de las masas de aire en la región de Canarias (Sancho, de la Cruz y otros, 1992; Merrill, 1994; Cuevas, 1995; Bustos, Cuevas y otros 1998). La mayoría de estos trabajos tienen en común que utilizan series muy cortas de datos o trayectorias isobáricas. El trabajo que se presenta aquí pretende dar una visión, con significado estadístico, sobre la procedencia de las masas de aire tanto en la capa de mezcla marítima como en la baja troposfera libre, prestando una especial atención a las masas de aire procedentes de la región del Sáhara/Sahel (África) que tanta importancia e incidencia tienen en la meteorología de Canarias.

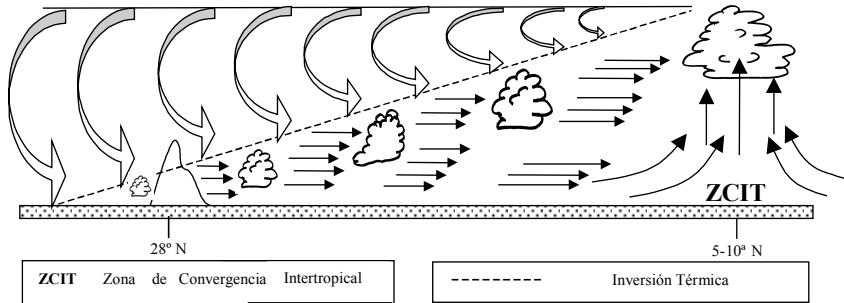


Figura 1: Modelo conceptual de los flujos atmosféricos en la región subtropical.

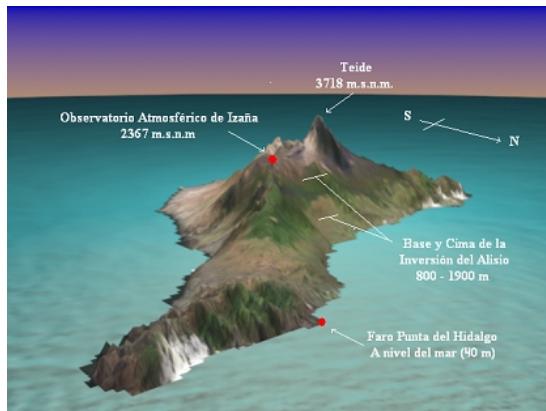


Figura 2: Situación de los Observatorios del INM (IZO y PHO) y de la *inversión del Alisio* en Tenerife.

2. Datos y metodología

2.1 Sondeos. Determinación de la *inversión del Alisio*

Para el estudio de la *inversión del Alisio* se ha trabajado con los datos de los sondeos realizados desde el Centro Meteorológico de Canarias Occidental situado en Santa Cruz de Tenerife (#60020), entre 1986 y 1997, para las 00 y 12 TMG. Se han interpolado los datos cada 100 m para poder caracterizar la *inversión del Alisio* y se ha buscado esta, en los primeros 3000 m de altura (baja troposfera).

En esta región se observa al menos una inversión de temperatura prácticamente todos los días del año (Figura 3). La *inversión del Alisio* es la única que separa dos regiones bien diferenciadas: la troposfera libre y la capa de mezcla marítima. Estas dos regiones se distinguen fundamentalmente por la humedad relativa. Por lo tanto con el fin de diferenciar esta inversión de otras que aparecen junto al suelo, como consecuencia del enfriamiento radiativo, y de aquellas que aparecen en altura debido a subsidencia, se ha impuesto la condición de que entre la base y la cima de la inversión exista una diferencia de humedad relativa superior al 20%. Esta condición como veremos a lo largo de este trabajo no será restrictiva. Obtenemos así que, en promedio, un 84% de las inversiones son del *Alisio* (Figura 3). Es necesario indicar que puede darse el caso de que en superficie el flujo de aire no provenga del NE y por lo tanto la denominación de *inversión del Alisio* no sea estrictamente aplicable siempre.

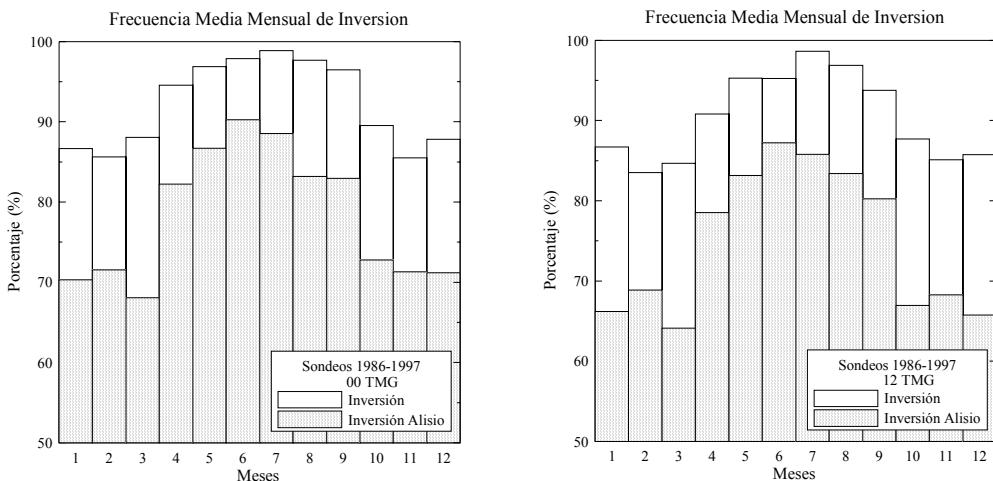


Figura 3: Frecuencia media mensual de inversión a las 00 TMG (izquierda) y 12 TMG (derecha).

2.2 Retrotrayectorias. Procedencia de las masas de aire

El estudio de la procedencia de las masas de aire que vamos a realizar, se fundamenta en el análisis de *retrotrayectorias* isentrópicas, las cuales dan una representación más realista del transporte a larga distancia (Danielsen, 1961) que las trayectorias isobáricas. Los campos de viento y las variables termodinámicas necesarias para el análisis isentrópico fueron generados por el National Meteorological Center (NMC). Las retrotrayectorias se calcularon usando técnicas cinemáticas (Merrill, Bleck y otros, 1986) para las 00 y 12 TMG en IZO (1986-1997) y en PHO (1988-1997), dentro del programa AEROCE (Atmosphere/Ocean Chemistry Experiment). Para cada caso se determinaron 4 *retrotrayectorias* situadas en los vértices de un cuadrado de $1^\circ \times 1^\circ$ centrado en cada estación, con una longitud de 10 días hacia atrás en el tiempo. Estas 4 *retrotrayectorias* nos dan información de la divergencia de los flujos en el entorno al punto de cálculo. En cada estación se tomó la superficie isentrópica que más se aproximaba a la temperatura potencial del lugar, debido a la resolución vertical (5 K) de los campos utilizados para el cálculo de las *retrotrayectorias* (Merrill, 1994). (Ver Figura 4).

Las *retrotrayectorias* son clasificadas teniendo en cuenta la posición espacial que ocupa la masa de aire 5 días antes de su llegada a Tenerife. Se consideran 5 días por el hecho de que el error en el cálculo de la trayectoria crece excesivamente por encima de este periodo debido al propio método de cálculo. En cada caso se utilizó una *retrotrayectoria* promedio de las 4 calculadas. La clasificación se basa en un compromiso entre las diferentes regiones geográficas existentes que pueden transferir características particulares a las masas de aire, y la variación latitudinal que poseen muchos parámetros físico-químicos. En líneas generales se asemeja a las realizadas en trabajos previos de otros autores (Sancho, de la Cruz y otros, 1992; Cuevas 1995). La clasificación con la que trabajamos posee 6 sectores geográficos (Figura 5) y 3 niveles verticales: Baja Troposfera (BT, $p > 770$ hPa), Media troposfera (MT, $770 \text{ hPa} \geq p > 500$ hPa) y Alta Troposfera (AT, $p \leq 500$ hPa).

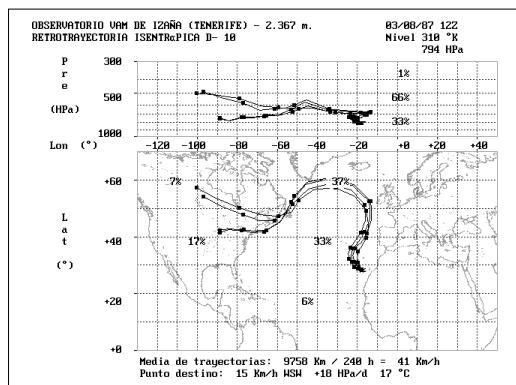


Figura 4: Ejemplo de una *retrotrayectoria* isentrópica en IZO.

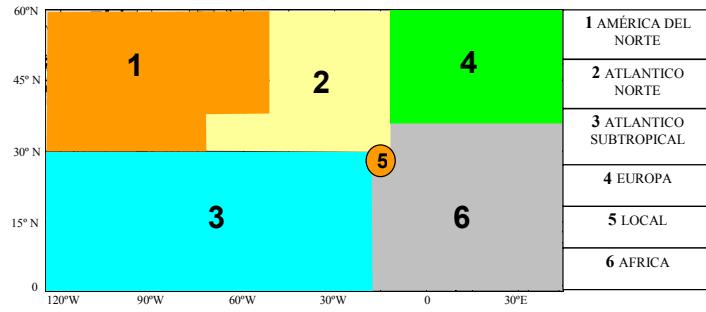


Figura 5: Clasificación de las masas de aire por sector geográfico.

3. Características de la inversión del Alisio

La *inversión del Alisio* se forma prácticamente durante todo los días del año, con una frecuencia máxima en verano (Julio 90%, 00 TMG) y una frecuencia mínima en invierno (Marzo 68%, 00 TMG) (Figura 3). No existen cambios significativos entre el día y la noche, aunque se aprecia que la inversión es en promedio un 3,4% menos frecuente durante el día. Los resultados obtenidos para la frecuencia mensual de inversión total son comparables con los obtenidos por Bustos, Cuevas y otros (1998), en cuyo trabajo sólo se consideró la primera inversión, que no siempre era la del *Alisio*. De igual forma, la frecuencia mensual de *inversión del Alisio* es comparable con los resultados obtenidos por Font (1956) a través de la observación del "Mar de nubes", aunque hay que indicar que este autor infravaloraba en invierno la frecuencia de la inversión por determinar ésta de forma indirecta.

La altura de la base y de la cima de la inversión, al igual que su espesor, tienen una variación estacional (Figura 6). Entre julio y agosto, la inversión se sitúa en niveles bajos (entre 770 y 1380 m, 00 horas) coincidiendo con un mayor espesor promedio (563 m, 00 TMG) mientras que entre octubre y enero, la inversión se eleva (entre 1360 y 1850 m, 00 horas) y el espesor promedio diminuye (358 m, 00 TMG). No existen grandes diferencias entre el día y la noche, pero puede apreciarse una pequeña disminución en altura durante la noche explicable por el régimen *catabático* de vientos asociado a la brisa montaña-valle.

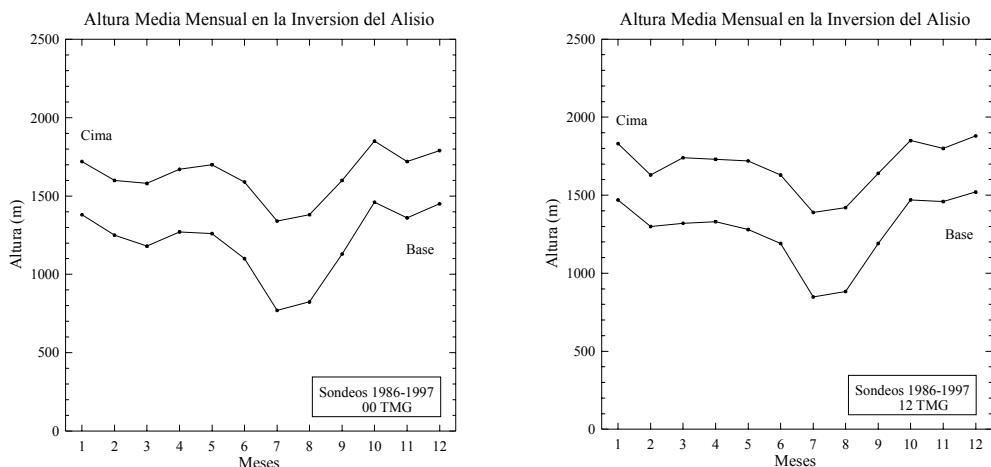


Figura 6: Altura media mensual en la *inversión del Alisio* a las 00 TMG (izquierda) y 12 TMG (derecha).

La temperatura de la base y de la cima tienen una variación estacional (Figura 7). Los valores nocturnos de temperatura son mayores que los diurnos debido a que durante el día, como ya hemos visto, la *inversión del Alisio* se encuentra más alta y por tanto más fría. Comprobamos también que el gradiente de temperatura entre la base y la cima es mayor en verano que en invierno. Esto último, junto al mayor espesor de la capa de inversión (Figura 6), nos confirma la mayor fortaleza de la inversión en la época estival.

La diferencia de humedad relativa entre la cima y la base de la inversión toma un valor promedio mensual de $51\% \pm 2\%$ a las 00 y 12 horas. Vemos que no existe una variación estacional significativa en este parámetro, que esta inversión separa dos masas de aire completamente diferentes prácticamente todo el año, y que la condición utilizada para el filtrado de los sondeos (diferencia de al menos un 20% en la

humedad relativa entre la base y la cima) no introduce errores en todo el proceso de caracterización de la *inversión del Alisio*.

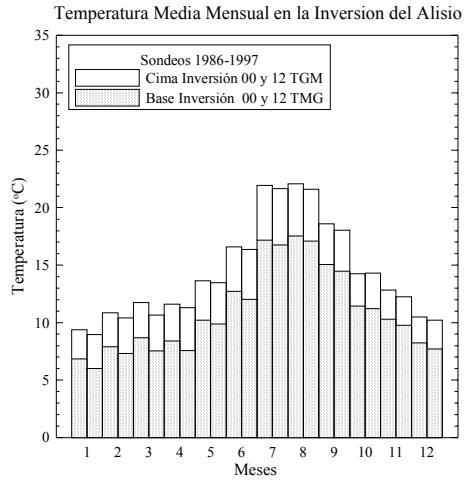


Figura 7: Temperatura media mensual en la *inversión del Alisio* a las 00 y 12 TMG.

4. Climatología de la procedencia de las masas de aire

Para conocer la procedencia de las masas de aire que llegan a Tenerife por encima y por debajo de la *inversión del Alisio*, hemos representado la frecuencia relativa mensual de la posición de las retrotrayectorias (5 días) una vez clasificadas por sector geográfico y nivel vertical, para IZO (1986-1997) y para PHO (1988-1997), a las 00 horas (Figura 8).

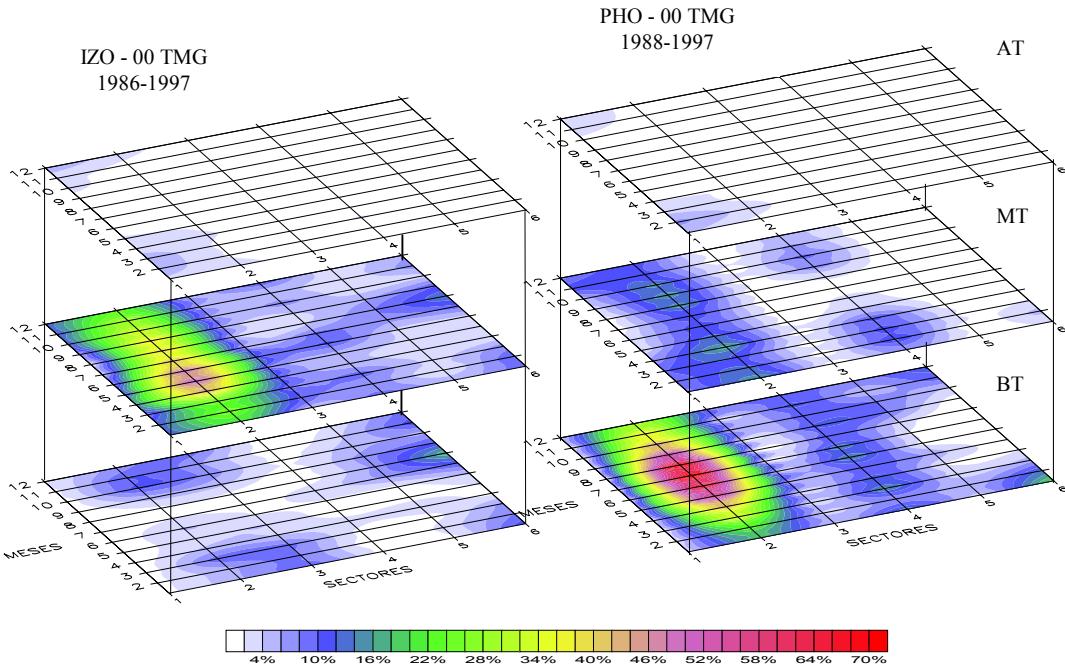


Figura 8: Frecuencia relativa media de la procedencia de las masas de aire en IZO y PHO.

Obtenemos que para IZO la mayoría de las masas de aire proceden del sector 2 y de la media troposfera, siendo esta situación predominante en los meses de mayo y junio. Son masas de aire marítimas procedentes del Atlántico Norte y potencialmente limpias. Existe un máximo secundario entre julio y septiembre para masas de aire procedentes del sector 6, de la baja y media troposfera. Estas masas de aire proceden de la capa de mezcla continental sobre el continente africano, y transportan polvo en suspensión. Sólo llegan masas de aire de la alta troposfera desde América del Norte en invierno.

Comparando con la baja troposfera libre, en PHO tenemos predominancia de masas de aire del sector 2 y de niveles bajos, con el máximo de frecuencia en primavera-verano. En estos meses no existen masas de aire procedentes de África aunque, como habíamos visto, sí van a existir por encima de la *inversión del Alisio* coincidiendo con la mayor fortaleza de la inversión. Aparecen varios máximos secundarios de masas de aire de la media troposfera, procedentes de Europa y que tampoco se manifiestan en IZO. Los casos de masas de aire de África sólo ocurren en invierno, proceden de la baja troposfera y con menos frecuencia que por encima de la inversión.

5. Conclusiones

La *inversión del Alisio* se observa durante todo el año en Tenerife, siendo especialmente fuerte en los meses de verano. Esta inversión separa dos masas de aire completamente diferentes, impidiendo la mezcla entre ambas, de tal forma que las medidas realizadas en las estaciones de IZO y PHO van a ser representativas de troposfera libre y capa de mezcla marítima, respectivamente. Un resultado de gran interés por su incidencia en la población es el hecho de que la llegada de masas de aire procedentes de África (asociadas con gran frecuencia a intrusiones de polvo) tienen lugar en gran medida durante el verano por encima de la *inversión del Alisio*, sin afectar a la capa de mezcla marítima y por tanto con una incidencia limitada, mientras que esta capa sólo se verá afectada por estas intrusiones durante el periodo de invierno.

Agradecimientos

La beca predoctoral del Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales de Barcelona del CSIC asociada al proyecto ENV4-CT97-0503 (Global SOC) permitió realizar el estudio de la procedencia de las masas de aire. El proyecto AEROCE proporcionó el conjunto de *retrotrayectorias* utilizadas en este trabajo para el periodo 1986-1997.

Referencias

- Bustos, J.J., E. Cuevas, C. Marrero y S. Afonso, 1998: Caracterización de las masas de mire de la troposfera libre y en la capa de mezcla en Canarias. IX Asamblea de Geodesía y Geofísica, Aguadulce (Almería), 9-13 de Febrero.
- Cuevas, E., 1995: Estudio del comportamiento del ozono troposférico en el Observatorio de Izaña (Tenerife) y su relación con la dinámica atmosférica. Memoria de Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, disponible en CD bajo pedido, ISBN 84-669-0399-2.
- Danielsen, E.F., 1961: Isobaric, isentropic and actual. J. Meteorol., 18, 479-486.
- Font, I., 1956: El tiempo atmosférico en las Islas Canarias: Servicio Meteorológico Nacional (INM), Serie A, No. 26.
- Huetz-de-Lemps, A., 1969: Leclimat des îles Canaries. In Publications de la Faculte des Lettres et des Sciences Humaines de Paris (Sorbonne) (edited by Societe d'Edition d'Enseignement Supérieur), pp. 15-134. Serie Recherche, 54, Paris.
- Merrill, J.T., R. Bleck and D. Boudra, 1986: Techniques of lagrangian trajectory analysis in isentropic coordinates. Mon. Weather Rev., 114, 571-581.
- Merrill, J.T., 1994: Isentropic airflow probability analysis. J. Geophys. Res., 99, D12, 25881-25889.
- Muñoz-Tuñón, C., J. Vernin and A.M. Varela, 1997: Night-time image quality at Roque de los Muchachos Observatory. Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 125, 183-193.
- Sancho, P., J. de la Cruz, A. Díaz, F. Martín, E. Hernández, F. Valero and B. Albarrán, 1992: A five-year climatology of back-trajectories from the Izaña Baseline Station, Tenerife, Canary Islands. Atmos. Environ., 26A, 6, 1081-1096.