

# ESTADÍSTICA DE DEPRESIONES AISLADAS EN NIVELES ALTOS

Emilio Cuevas (1)  
José Rodríguez (2)

(1) Observatorio Atmosférico de Izaña, INM  
(2) Observatorio Atmosférico de Izaña, INM. Ahora en la Universidad de La Laguna

## RESUMEN

En el presente trabajo se presenta una estadística de Depresiones Aisladas en Niveles Altos (*DANA's*) utilizando campos diarios isentrópicos de vorticidad potencial del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (*CEPPM*) en el periodo 1989-99. El área de estudio viene delimitada por los puntos geográficos 60°W/80°N y 30°E/20°N. Se observa un máximo de aparición de *DANA's* entre 35°N y 40°N durante todo el año excepto en julio, agosto, septiembre y agosto, meses en los que la frecuencia absoluta máxima se registra entre 40°N y 45°N. La máxima frecuencia absoluta de *DANA's* se registra en las proximidades de la Península Ibérica, con dos máximos absolutos, uno al *SW* y otro al sur, en torno al Estrecho de Gibraltar.

### 1. Introducción

Las Depresiones Aisladas en Niveles Aislados (*DANA's*) normalmente conocidas en su expresión inglesa como *cut-off-lows* (*COL's*) constituyen un poderoso mecanismo de intercambio entre la troposfera y la estratosfera. Estos mecanismos han sido ampliamente estudiados por numerosos autores, y en Holton y otros (1995) se puede encontrar un interesante resumen de los trabajos más importantes sobre los mismos.

Los procesos de intercambio estratosfera-troposfera asociados al desarrollo de *DANA's* en latitudes medias son los responsables de los registros extremadamente altos de ozono troposférico observados sobre Tenerife a finales de la primavera y durante algunos días del verano, tal y como se muestra en el ejemplo de la Figura 1 (Cuevas, 1996). En definitiva el desarrollo de *DANA's* juega un papel fundamental en el contenido de ozono troposférico en latitudes medias del Atlántico Norte (Oltmans y otros, 1992), y en la región subtropical en general (Cuevas y otros, 2000; Kentarchos y otros, 2000).

Por otro lado los cambios que se están observando actualmente en la Alta Troposfera-Baja Estratosfera (*ATBE*), relacionados tanto con cambios en la composición atmosférica como con el calentamiento de la troposfera y el enfriamiento significativo y rápido de la estratosfera, auguran probables cambios en la distribución espacial y temporal de los procesos dinámicos que tiene lugar en esta región. La *ATBE* es últimamente objeto de una gran atención por parte de numerosos investigadores, y en el marco Europeo se ha propuesto recientemente una Acción *COST* que coordine la investigación y los resultados obtenidos en esta región atmosférica. Por lo tanto el análisis, que con una aproximación multidisciplinar, se realiza de estadísticas y tendencias de fenómenos que tienen lugar en la *ATBE* es de plena actualidad.

Existen trabajos estadísticos sobre *DANA's* en el hemisferio norte (Bell y Bosart, 1989; Price y Vaughan, 1992; Hernández, 1999), pero se basan en el análisis de mapas isobáricos, o bien tratan una serie de datos relativamente corta y/o una región geográfica muy limitada. El trabajo que se presenta es básicamente una ampliación y actualización del trabajo desarrollado por Hernández (1999), utilizando una metodología muy parecida. Los aspectos más relevantes de este trabajo son dos: considerar un área de estudio mucho más amplia que la empleada en el trabajo mencionado y estudiar diez años de análisis diarios, lo que le confiere una gran representatividad desde un punto de vista estadístico. Se presentan promedios mensuales y anuales de la distribución geográfica de *DANA's* en diferentes niveles isentrópicos.

### 2. Datos y Metodología

Se ha estudiado diez años de análisis del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (*CEPPM*) desde enero de 1989 hasta enero de 1999, a las 00 y 12 *TMG*, en los niveles isentrópicos de 315 K, 320 K, 325 K, y 330 K con una resolución horizontal 1,25°x1,25° en el área definida por los puntos geográficos 60°W/80°N y 30°E/20°N.

Las *DANA's* se caracterizan por un hundimiento en su parte central de la tropopausa lo que origina zonas con valores altos de vorticidad potencial en su interior. Esta característica de las *DANA's* es la que se ha empleado

para determinar la posición de las *DANA*'s. Los criterios para detectar una *DANA* fueron los utilizados en trabajos previos (Hernández, 1999), es decir, un contorno cerrado de al menos 2 Unidades de Vorticidad Potencial (*UVP*;  $1 \text{ UVP} = 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ K kg}^{-1}$ ) y un máximo encerrado en dicho contorno de, al menos, 4 *UVP* en cualquiera de las superficies isentrópicas correspondiente a cada uno de los meses. En cualquier caso y para evitar contemplar contornos cerrados que no correspondieran realmente a la estructura de una *DANA* (por ejemplo, una vaguada en altura) se exigió que el contorno cerrado de 2 *UVP* tuviera una extensión mínima de  $30^\circ \times 30^\circ$ . Como centro de una *DANA* se tomó el punto de malla para el que la vorticidad potencial fuera máxima. Finalmente y para simplificar y dar mayor representatividad espacial en las estadísticas de la distribución espacio-temporal, cada *DANA* fue asignada a una caja de  $5^\circ \times 5^\circ$ .

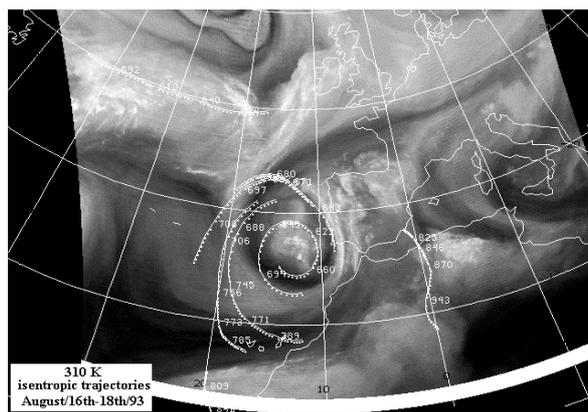


Figura 1: Imagen de vapor de agua (16 de Agosto-93) y trayectorias isentrópicas del *LAM-INM* entre los días 16 y 18 de Agosto-93.

### 3. Resultados

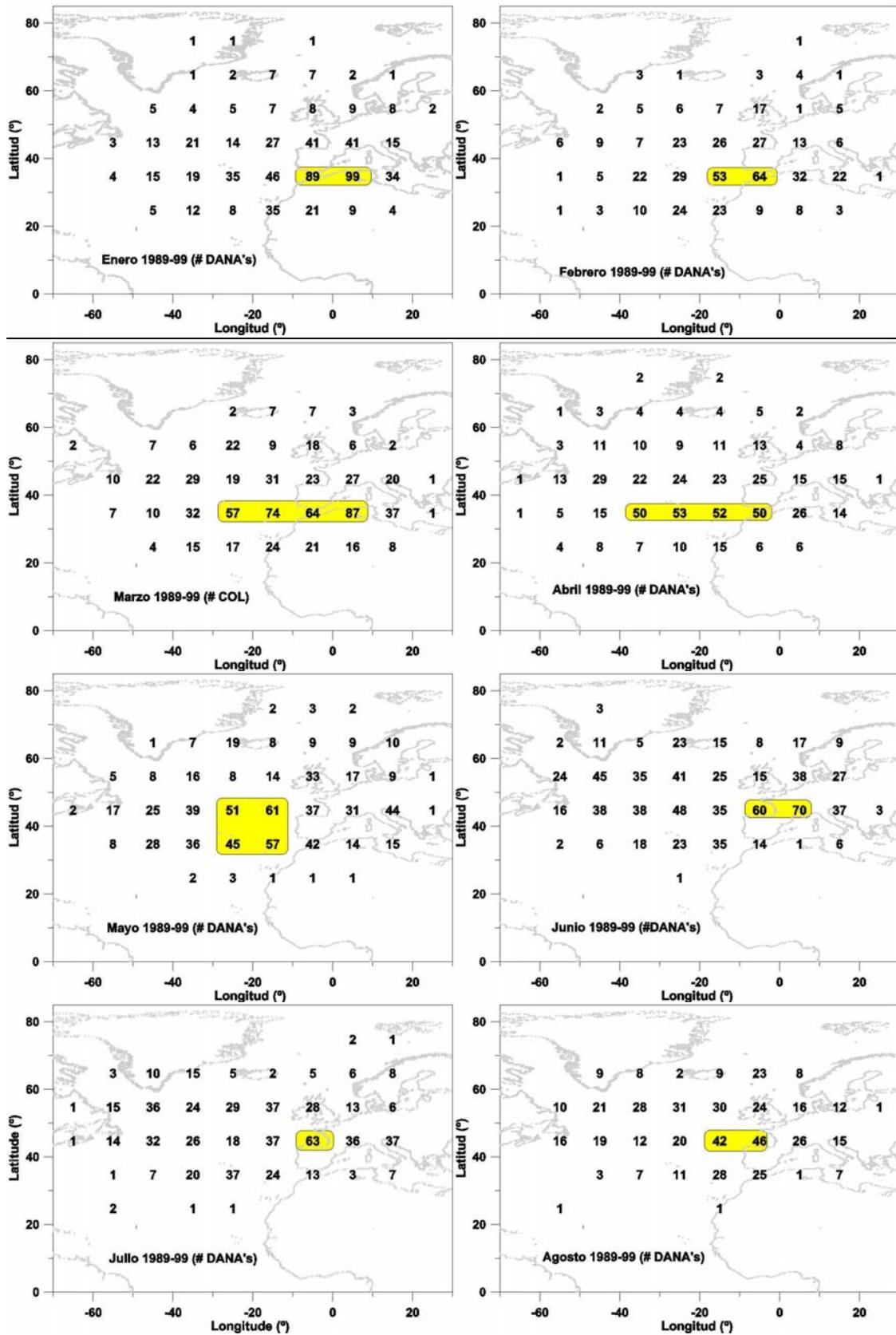
En la Figura 2 se muestra el número de casos de *DANA*'s en el periodo 1989-99 para cajas de  $5^\circ \times 5^\circ$  en el dominio definido por los puntos geográficos  $60^\circ \text{W}/80^\circ \text{N}$  y  $30^\circ \text{E}/20^\circ \text{N}$ , para cada mes del año. Se han resaltado en amarillo los valores máximos encontrados en todo el dominio.

Podemos observar cómo las frecuencias más altas de aparición de *DANA*'s se dan en la franja latitudinal entre  $35^\circ \text{N}$  y  $40^\circ \text{N}$ , preferiblemente en las cercanías de la Península Ibérica. Tan solo en los meses de verano y principios de otoño las frecuencias más altas se encuentran localizadas en la franja  $40^\circ \text{N}$  y  $45^\circ \text{N}$ , justo en el norte de la Península Ibérica, coincidiendo con una migración de la circulación atmosférica hacia al norte. En abril y mayo los valores más altos se localizan en la vertiente Atlántica, y si tenemos en cuenta el trabajo de Cuevas y Rodríguez (2001), es en estos meses y en marzo, es cuando existe una mayor probabilidad de que interactúen las *DANA*'s con el Chorro Subtropical, circunstancia puede dar lugar a situaciones meteorológicas de enorme interés.

Es llamativo el hecho de que a lo largo de todo el año las frecuencias absolutas más altas de *DANA*'s se observen en las cercanías de la Península Ibérica, y esto se pone de manifiesto claramente en el total anual de *DANA*'s en el periodo 1989-99 (Figura 3). Existen dos máximos absolutos uno al suroeste y otro al sur de la Península Ibérica, resultados que concuerdan con los obtenidos por Hernández (1999). El máximo absoluto encontrado al suroeste de la Península Ibérica aparece como tal a lo largo de todos los meses del año, excepto en verano a diferencia de lo obtenido por Hernández (1999) y Bell y Bosart (1989).

En la Figura 4 se muestran las medias mensuales de casos de *DANA*'s encontrados en el nivel de 320 K en el periodo 1989-99. Dado que 320 K es un nivel medio podemos considerar que esta gráfica muestra la mejor representación de la evolución anual del número de casos de *DANA*'s. Se observa un valor máximo en todo el dominio en los meses de junio y julio, y valores mínimos en el periodo invernal, siendo la frecuencia absoluta entre un 30% y un 50% inferior que la registrada en verano. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Hernández (1999). Uno de los resultados más interesantes, en cuanto a su relación con el contenido de ozono troposférico en la región subtropical, es que se encuentra un máximo de aparición de *DANA*'s sobre el Atlántico Norte en latitudes medias (entre  $40^\circ \text{N}$  y  $45^\circ \text{N}$ ) en el mes de junio. En este mes, y de esta región geográfica es de donde proceden la mayor parte de las masas de aire que llegan al Observatorio de Izaña y que tiene asociadas los valores más altos de ozono superficial y del elemento radioactivo  $Be^7$ , típico trazador

de masas de aire procedentes de la alta troposfera y/o baja estratosfera ampliamente utilizado en el Observatorio de Izaña (Cuevas y otros, 1999).



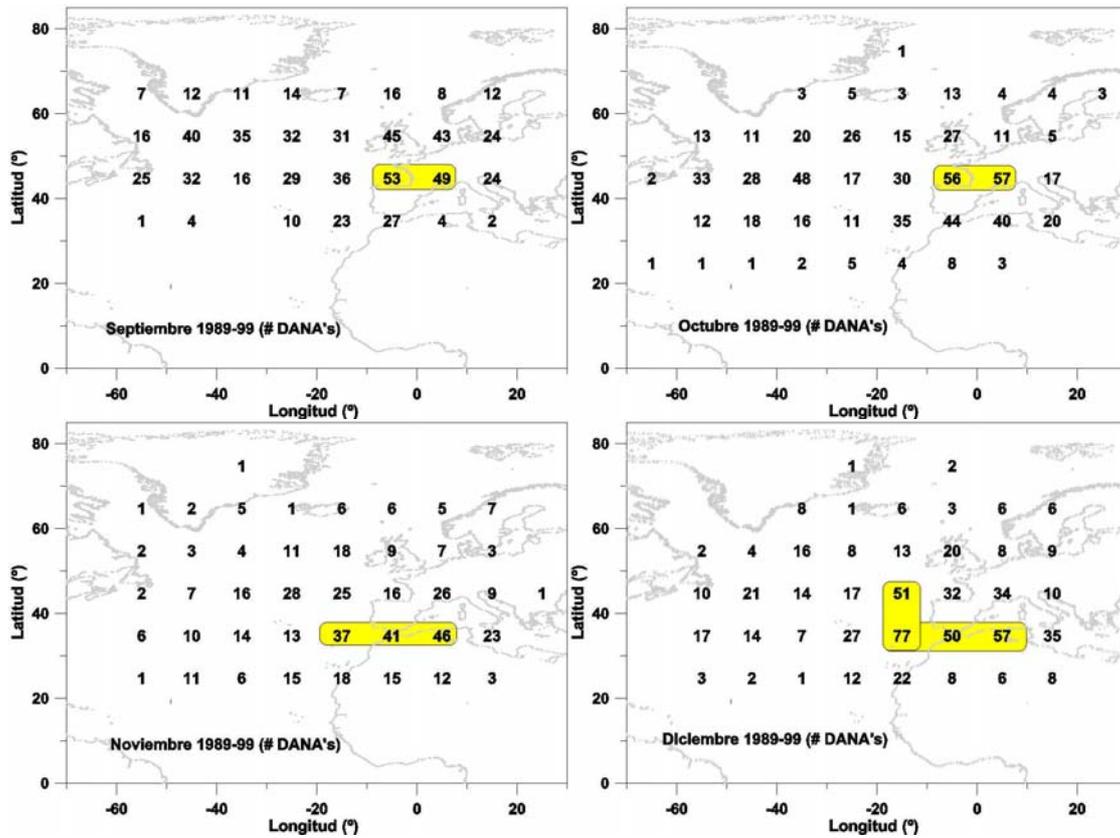


Figura 2: Número de casos de *DANA's* en el periodo 1989-99 para cajas de 5°x5° en el dominio definido por los puntos geográficos 60°W/80°N y 30°E/20°N, para cada mes del año. Resaltado en amarillo los valores máximos encontrados en todo el dominio.

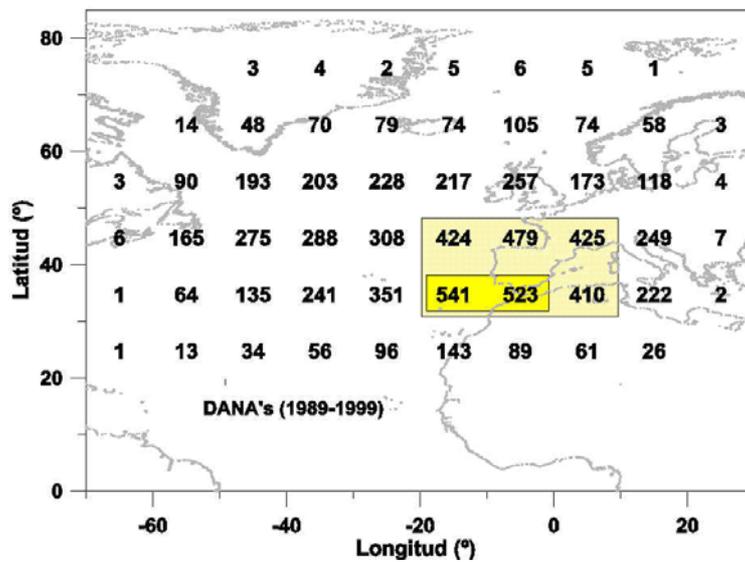


Figura 3: Número total anual de *DANA's* en el periodo 1989-99.

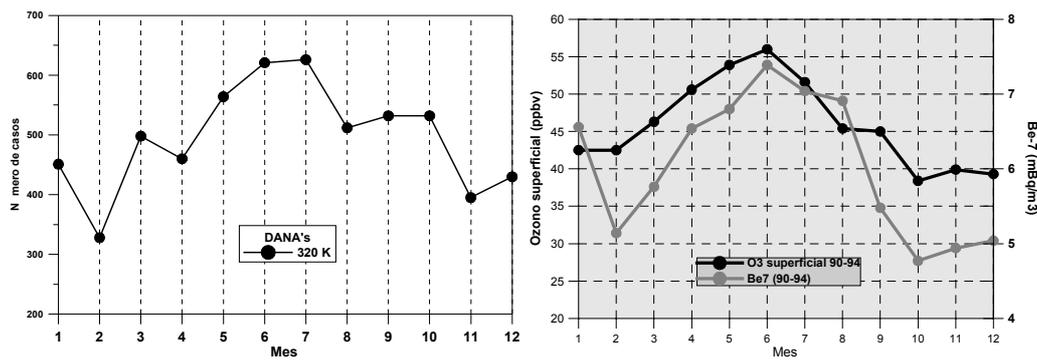


Figura 4: Medias mensuales de casos de *DANA's* (con el criterio explicado en el apartado 2) encontrados en el nivel de 320 K en el periodo 1989-99 (gráfica de la izquierda), y evolución anual de ozono superficial y  $Be^7$  medidos en el Observatorio Atmosférico de Izaña en el periodo 1990-94 (gráfica de la derecha).

Se puede apreciar en la Figura 4 el aspecto parecido que tienen las curvas de evolución anual de ozono superficial y  $Be^7$ , con la del número de *DANA's* observadas en 320 K en la región del Atlántico Norte, lo que indica, a nivel general, la gran incidencia que tiene el desarrollo de *DANA's* en latitudes medias sobre la composición atmosférica en la troposfera libre subtropical, que ya ha sido analizada en detalle mediante casos de estudio.

La Figura 5 muestra el valor total de casos de *DANA's* para cada año en el periodo 1989-99. Como se puede ver la variación interanual es bastante grande, registrándose un máximo absoluto en el año 1993 y un mínimo absoluto en 1998.

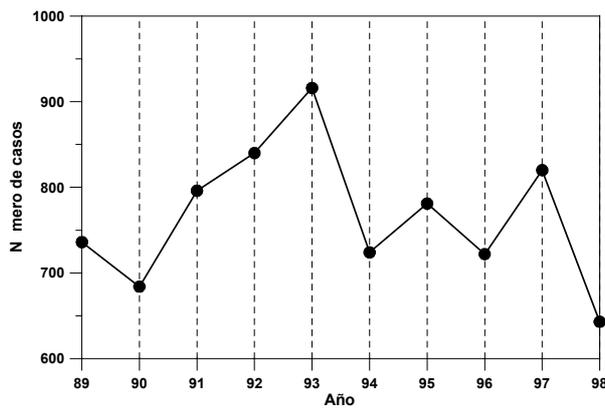


Figura 5: Número anual de casos de *DANA's* (con el criterio explicado en el apartado 2) en el periodo 1989-99.

#### 4. Conclusiones

La frecuencia absoluta de *DANA's* se produce en el cinturón latitudinal entre 35° N y 45° N, y en una región geográfica en torno a la península Ibérica.

Se observa durante todo el año, excepto en los meses de verano, dos máximos absolutos de aparición de *DANA's* situados respectivamente al suroeste y al sur de la península Ibérica, en torno al Estrecho de Gibraltar.

Se registra un máximo de actividad en mayo, junio y julio en todo el dominio, y unos mínimos de actividad en los meses invernales, siendo la frecuencia absoluta de *DANA's* entre un 30% y un 50% menor a la registrada en los meses de más actividad (verano).

La evolución anual del número de *DANA's* en 320 K se asemeja mucho a la de ozono superficial y  $Be^7$  registrados en el Observatorio de Izaña. Dado que el  $Be^7$  es un excelente trazador de masas de aire

provenientes de la alta troposfera y/o baja estratosfera, y dado que en el Observatorio de Izaña se registra una muy buena correlación entre este trazador y el ozono superficial, se puede concluir a nivel general la importante incidencia de desarrollo de *DANA*'s en la composición química observada en la troposfera libre de la región subtropical, resultado que ha sido confirmado con detallados análisis de casos de estudios.

Existe una probabilidad significativa de que interactúen las *DANA*'s con el Chorro Subtropical en los meses de marzo, abril y mayo, lo que puede dar lugar a situaciones meteorológicas muy interesantes.

La variabilidad interanual en la aparición de *DANA*'s puede ser muy grande, registrándose un máximo absoluto en el año 1993 y un mínimo en el año 1998.

### **Agradecimientos**

El Proyecto europeo *TRACAS* (*TRansport of Chemical species Across Subtropical tropopause, ENV4-CT97-0546*) financió la beca que disfrutó el informático José Rodríguez. Gracias a esta beca fue posible realizar numerosos trabajos, entre los cuales se encuentra éste.

Los autores expresan su agradecimiento a Juanjo Bustos, del *CMT* en Canarias Occidental, por su ayuda en el tratamiento de los análisis del *CEPPM*.

### **Referencias**

Bell, G.D., L.F. Bosart, 1989: A 15-year Climatology of Northern Hemisphere 500 mb Closed Cyclone and Anticyclone Centers, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 117, 2142-2163.

Cuevas, E., 1996: 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.

Cuevas, E., J. Sancho, S. Afonso, R. Riosalido, 1999: Análisis de Procesos de Intercambio Estratosfera-Troposfera, a través de medidas de ozono, trazadores radioactivos y diferentes herramientas dinámicas, IV Simposio Nacional de Predicción del Instituto Nacional de Meteorología, Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente (Serie Monografías), pp 253-260.

Cuevas, E., Diamantino V. Henriques, J.M. Sancho, 2000: Stratosphere-Troposphere Exchange events over North Atlantic subtropical region, *Proceedings 2ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica*, Lagos (Portugal), 8-12 Febrero 2000, pp 451-452.

Cuevas, E., J. Rodríguez, 2001: Caracterización del Chorro Subtropical, V Simposio Nacional de Predicción, INM, Madrid, Noviembre de 2001, disponible en CD.

Hernández, A., 1999: Un Estudio Estadístico sobre Depresiones Aisladas en Niveles Altos (DANAS) en el Sudoeste de Europa basado en Mapas Isentrópicos de Vorticidad Potencial, IV Simposio Nacional de Predicción, Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente (Serie Monografías), pp. 235-240.

Holton J., P. Haynes, M. McIntyre, A. Douglass, R. Rood and L. Pfister, 1995: "Stratosphere Troposphere exchange". *Rev. Geophys.*, 33, 403-439.

Kentarchos, A., G.J. Roelofs, J. Lelieveld, E. Cuevas, 2000: On the origin of elevated surface ozone concentrations at Izaña Observatory during the last days of March 1996: a model study, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 27, 22, 3699-3702.

Oltmans, S., H. Levy II, J.M. Harris, J.T. Merrill, J.L. Moody, J. Lathrop, E. Cuevas, M. Trainer, M.S. O'Neill, J.M. Prospero, H. Vömel, B.J. Johnson, 1996: Summer and Spring Ozone Profiles Over the North Atlantic from Ozononesonde Measurements, *J. Geophys. Res.*, 101, D22, 29179-29200.

Price, J.D., G. Vaughan, 1992: Statistical studies of cut-off-low systems, *Annales Geophysicae*, Vol. 10, 96-102.