

# CARACTERIZACIÓN DEL CHORRO SUBTROPICAL

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 este trabajo se presenta un estudio sobre el Chorro Subtropical (ChS) en el Atlántico Norte basado en análisis diarios HIRLAM (High Resolution Limited Area Model) durante los años 1998 y 1999. Este trabajo se enmarca en el Proyecto europeo *TRACAS (Transport of Chemical species Across Subtropical tropopause, ENV4-CT97-0546)*, y en él se muestran valores mensuales promedio de la posición, altura, velocidad y vorticidad potencial del ChS. Las características del ChS encontradas en ambos años son muy similares. El ChS se observa normalmente entre 11 y 13,5 km de altitud, y es mejor detectado en los niveles de 340 K y 350 K, con posiciones muy parecidas en ambos niveles isentrópicos. El ChS más activo se observa en el mes de marzo en 350 K, confundiendo con el Chorro Polar en un único Chorro en los meses de junio, julio, agosto y septiembre.

## 1. Introducción

La Corriente en Chorro (Chorro) es una región donde se observan máximos en la velocidad del viento. La generación de vientos en altura está íntimamente relacionada con el gradiente horizontal de temperatura (Holton, 1979). La presencia de un Chorro indica la existencia de dos masas de aire separadas por una frontera constituida precisamente por el mismo Chorro. Éste tiene la apariencia de tubos achatados de uno 500 km a 1000 km de anchura y de 1 km a 3 km de espesor que se extienden a lo largo de miles de kilómetros bajo la tropopausa a una altura entre 9 km y 14 km dependiendo de la latitud. En términos de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), el Chorro se define como una región situada en la alta troposfera donde las isotacas tienen un valor superior a 70 nudos con una parte interna donde la velocidad del viento es igual o superior a 90 nudos.

El objetivo de este trabajo es el de proporcionar una descripción del Chorro Subtropical (ChS), ya que éste ha sido mucho menos estudiado que el Chorro Polar (ChP). El estudio se concentra en la región del Atlántico Norte durante los años 1998 y 1999, periodo en el cual se realizó un detallado y exhaustivo análisis del ChS en el marco del Proyecto europeo *TRACAS (Transport of Chemical species Across Subtropical tropopause, ENV4-CT97-0546)*. Se mostrará la distribución geográfica, la altitud y la velocidad media del ChS a lo largo del año en la región del Atlántico Norte y el norte de África.

El ChS juega un papel muy importante en los procesos de intercambio estratosfera-troposfera (Kowol-Santen y Ancellet y otros, 1999; 2000; Timmis y Vaughan y otros, 1999) por cuanto asociado al mismo se observa un cambio brusco en la altura de la tropopausa que delimita claramente la región subtropical de las latitudes medias. Por las consecuencias que pueden tener los procesos de intercambio en el balance neto de determinados componentes de origen claramente estratosférico en la troposfera, como el ozono y el monóxido de nitrógeno, y otros de origen troposférico en la estratosfera, como el vapor de agua, el dióxido de carbono y el metano, es por lo que el estudio del ChS ha cobrado una gran importancia recientemente.

Los resultados mostrados en este trabajo y otros obtenidos en el marco del Proyecto *TRACAS* (Cuevas y otros, 2000), han constituido una información básica para el resto de los grupos participantes en dicho Proyecto.

## 2. Datos y método

Se han realizado determinaciones del ChS con análisis diarios del modelo HIRLAM (High Resolution Limited Area Model), desde diciembre-1997 hasta enero-2000, en la región de estudio delimitada por 66.5°W/30°E/15N/65°N. Se consideró la existencia de un chorro en los niveles de 330K, 340K y 350K

(cada uno de ellos analizado de forma separada) cuando se detectaba una velocidad del viento superior a  $35 \text{ ms}^{-1}$ . Se consideraron todos los máximos de viento, tanto los asociados a Depresiones Aisladas en Niveles Altos (DANA's), como los asociados a vaguadas en altura como los potencialmente relacionados con los chorros subtropical y polar, respectivamente. El método de detección del ChS es el siguiente:

Para cada punto (i,j) de la malla de estudio (desde  $66.5^{\circ}\text{W}$  a  $30^{\circ}\text{E}$ , y desde  $15^{\circ}\text{N}$  a  $65^{\circ}\text{N}$ , y con una resolución de  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ) se examina la velocidad del viento (V). La derivada de la trayectoria definida por el viento es el vector  $\vec{V}$

$$|V_{i,j}| = \sqrt{u_{i,j}^2 + v_{i,j}^2} \quad (1)$$

El siguiente paso consiste en seleccionar los puntos de la malla de la siguiente manera: La malla es filtrada con una matriz digital bidimensional de  $5 \times 5$  elementos, todos ellos con un valor a priori de 1. Este proceso es equivalente a aplicar una media móvil de dos dimensiones, y su objetivo es reducir el "ruido" introducido por valores anómalos de pequeña escala espacial. Los puntos con una velocidad del viento menor a  $35 \text{ ms}^{-1}$  son descartados. Se seleccionan los puntos cuya velocidad del viento es un máximo relativo a lo largo de la línea perpendicular a la derivada del viento ( $\vec{V}$ ). La longitud máxima del segmento de búsqueda es de  $10^{\circ}$ . Las coordenadas geográficas de los puntos seleccionados se graban en matrices de  $100 \times 194$  elementos, una por cada nivel isentrópico (330 K, 340 K, 350 K, y 360 k) y parámetro meteorológico (altura geopotencial, velocidad del viento, componentes zonal y meridional del viento, y vorticidad potencial), siendo la resolución espacial de  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ .

### 3. Resultados

En realidad en el trabajo sobre caracterización del ChS, realizado en el marco del Proyecto TRACAS, se analizó tanto éste chorro como el ChP. Algunos de los comentarios en este trabajo harán referencia a resultados obtenidos del ChP que no son mostrados en el mismo. Del análisis diario del ChS se han obtenido medias mensuales de posición, altitud, velocidad y vorticidad potencial para 1998 y 1999 para cada  $0.5^{\circ}$  desde  $65^{\circ}\text{W}$  hasta  $30^{\circ}\text{E}$ , es decir la región del Atlántico Norte. Sin embargo por razones de limitación de espacio tan solo se mostrarán resultados gráficos correspondientes a los meses de enero, marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre de 1999.

El centro del ChS es detectado habitualmente en los niveles de 340 K y 350 K, aunque se suele observar una velocidad ligeramente superior del mismo en 350 K, al menos cuando éste es más rápido y persistente (periodo febrero-abril), y que es cuando se espera que el ChS juegue un papel más activo en los procesos de intercambio estratosfera-troposfera (Timmis y Vaughan y otros, 1999). Los ozonosondeos realizados en Tenerife desde noviembre de 1992 confirman que esto es así, observándose valores muy altos de ozono en la alta troposfera, como consecuencia de intrusiones estratosféricas, y valores muy bajos de ozono y altos de vapor de agua en la baja estratosfera debido a intrusiones troposféricas en la estratosfera, ambos procesos de intercambio asociados al ChS sin necesidad de que éste se encuentre perturbado. En Cuevas y Rodríguez (2001a) se analizan el papel jugado por el ChS en estos procesos. De nuevo por falta de espacio, tan solo se muestran las gráficas de las características más importantes del ChS al nivel de 350 K.

En la Figura 1 se muestra la posición del ChS en meses representativos de invierno, primavera, verano y otoño. El ChS se localiza claramente al sur de Canarias en el periodo invernal desde octubre hasta marzo, en torno a los  $20^{\circ}\text{N}$ . Durante algunos días de marzo y en los meses de abril y mayo el ChS se encuentra prácticamente sobre Canarias o en sus proximidades, tanto al norte como al sur del Archipiélago. En los meses de verano, junio, julio, agosto y septiembre normalmente se localiza un ChS muy debilitado o un único chorro no claramente subtropical, siempre al norte de Canarias. En ésta época del año es, por lo tanto, difícil distinguir el ChS del ChP y se puede suponer que ambos se "fundan" en un único Chorro. Este Chorro es de muy escasa actividad y en numerosos días desaparece por completo en grandes regiones del Atlántico Norte.

Como se puede ver en la Figura 1 es imposible determinar en verano el promedio mensual de la posición del ChS para algunas longitudes, y en otras este valor es calculado con muy pocos datos, de ahí su

desviación estándar pequeña. En los meses de agosto y septiembre el Chorro alcanza su posición más septentrional. En estos meses es imposible distinguir el ChS del ChP.

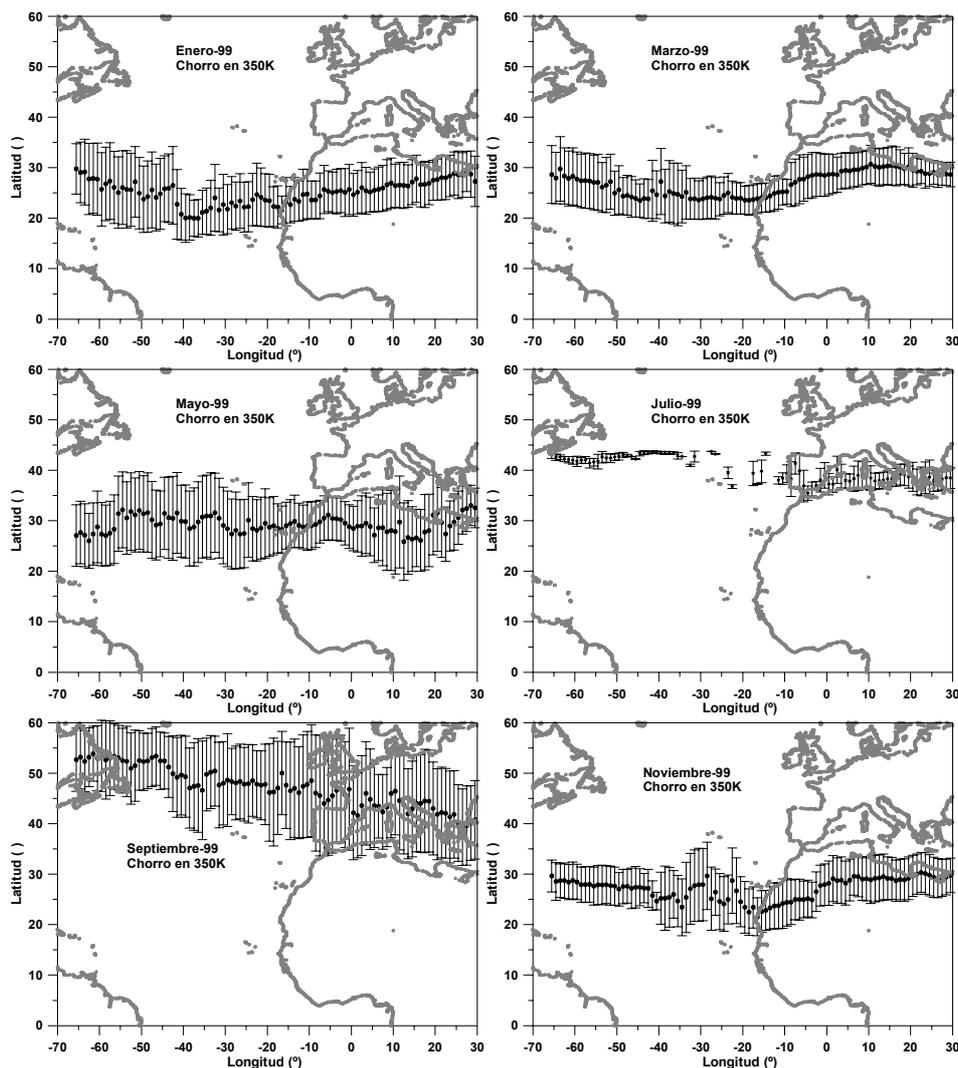


Figura 1: Posición promedio de ChS para cada 0.5° de longitud con su correspondiente desviación estándar para enero, marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre de 1999, respectivamente.

En relación con la velocidad del ChS (Figura 2), los valores más altos se encuentran en el mes de marzo con velocidades medias mensuales en algunas regiones, como por ejemplo en torno a Canarias a unos 16°W, superiores a los 60 ms-1. La velocidad del ChS es casi siempre superior en los niveles de 340 K y 350 K que en 330 K para el periodo de diciembre a marzo. En el periodo de abril a noviembre las velocidades medias mensuales en estos tres niveles son muy similares. Otro resultado interesante es que el ChS se acelera justo al pasar sobre el continente Africano en los meses de invierno.

La vorticidad potencial asociada al ChS (Figura 3) varía entre 1,5 y 2,5 Unidades de Vorticidad Potencial ( $1 \text{ UVP} = 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Kkg}^{-1}$ ) en el mes de máxima actividad del ChS (marzo). Un valor de vorticidad potencial en este rango es el habitualmente utilizado para definir la tropopausa dinámica, por lo que este resultado indica que el ChS se desenvuelve precisamente en las proximidades de esta región. Sin embargo en verano este valor es muy superior, entre 3,5 UPV y 6 UPV, lo que sugiere que el único Chorro que nos encontramos en latitudes más altas no tiene las características propias del ChS.

En cuanto a su posición en altura, mostrada en la Figura 4, el ChS en 350 K se localiza normalmente entre 11 km y 13,5 km. En mayo, junio y julio se observa una gran variabilidad en la altitud del ChS, y del único Chorro que finalmente se observa al norte de Canarias. Sin embargo el Chorro se encuentra confinado en una estrecha franja, entre 11,5 km y 12,5 km de altura, cuando solo se localiza un único Chorro en agosto y septiembre.

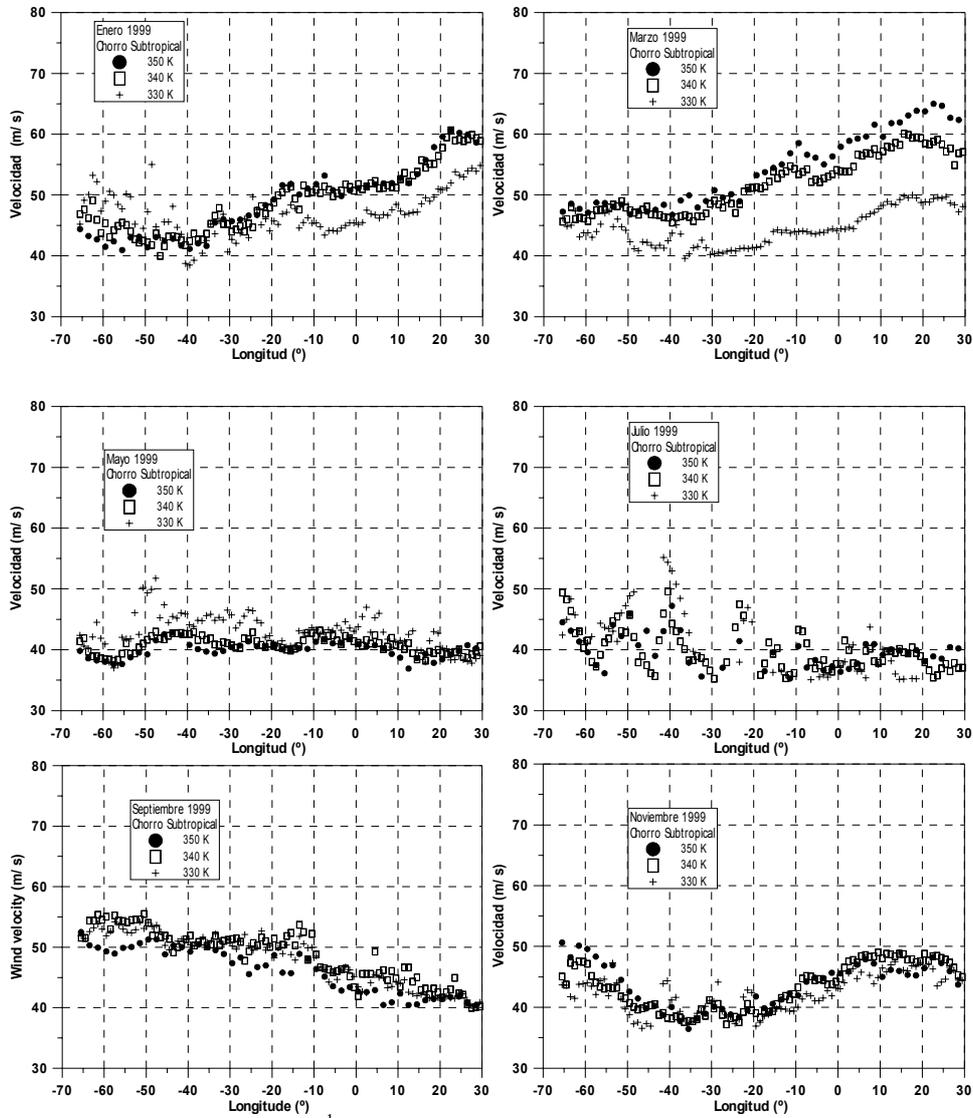


Figura 2: Velocidad promedio ( $\text{m s}^{-1}$ ) del ChS para cada  $0.5^\circ$  de longitud con su correspondiente desviación estándar para enero, marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre de 1999, respectivamente.

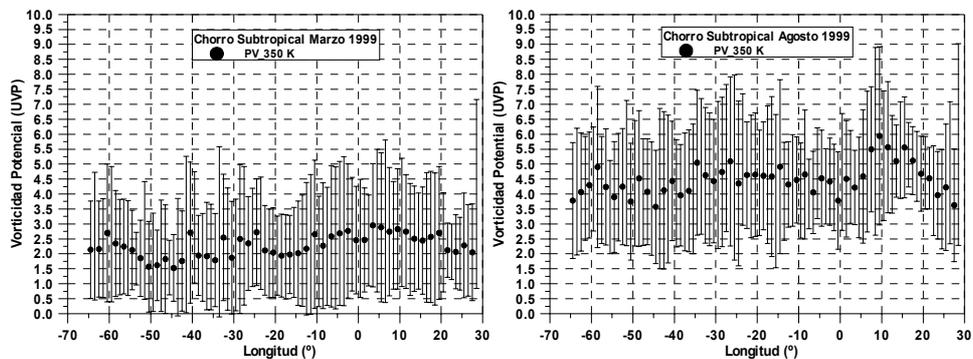


Figura 3: Vorticidad potencial (UVP) del ChS para cada  $0.5^\circ$  de longitud con su correspondiente desviación estándar para marzo y agosto de 1999, respectivamente.

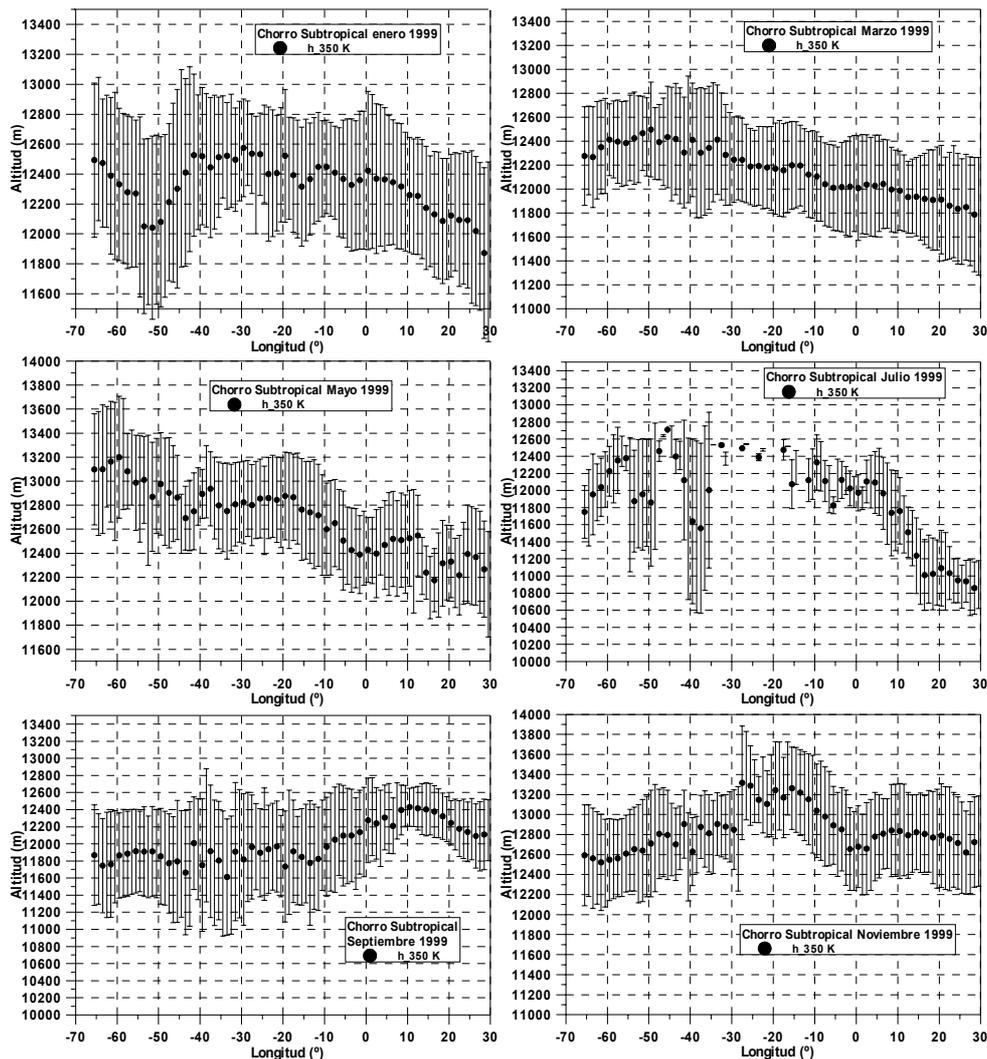


Figura 4: Altitud (mgp) del ChS para cada 0.5° de longitud con su correspondiente desviación estándar enero, marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre de 1999, respectivamente.

#### 4. Conclusiones

El núcleo del ChS se encuentra normalmente entre 340K y 350 K, aunque en el periodo de mayor actividad del ChS se encontraron velocidades ligeramente superiores en el nivel de 350K.

El ChS más veloz, al menos en las proximidades de Canarias, se encontró en el mes de marzo, sugiriendo que los procesos más importantes de intercambio estratosfera-troposfera en las proximidades de la tropopausa, se producen en este mes. El ChS se acelera al pasar sobre el continente africano, moviéndose simultáneamente hacia el norte.

El ChS es claramente observado al sur de Canarias desde octubre a marzo. En los meses de abril y mayo el ChS se encuentra prácticamente sobre Canarias. En junio, julio, agosto y septiembre tan solo es detectado un único chorro al norte de Canarias, confundiendo entonces el ChP y el ChS. En esta época del año existe un número significativo de días en los que en grandes áreas geográficas no se observa una velocidad del viento superior a  $35\text{ms}^{-1}$  y por lo tanto se puede considerar que no existe ChS.

El ChS es normalmente observado entre 11 y 13,5 km con una vorticidad potencial asociada entre 1,5 y 2,5 UVP en la época de mayor actividad. En verano la vorticidad potencial asociada al ChS en 350 K es muy superior con valores inferiores de 3 UVP.

Si tenemos en cuenta la estadística sobre distribución espacio-temporal de DANA's de Cuevas y Rodríguez (2001b), podemos estimar que las máximas probabilidades de interacción del ChS con una DANA se dan a finales de marzo, y principalmente en abril y mayo, meses en los que se encuentra un máximo de aparición de DANA's al sur de la Península Ibérica. Estos procesos de interacción son de enormemente complejos y de una gran importancia desde el punto de vista de predicción meteorológica.

### **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 HIRLAM.

### **Referencias**

Cuevas, E., J. Rodríguez, J.M. Sancho, J.J. Bustos, M. Gil, C. Parrondo, 2000: INM-INTA-TRACAS Report CD, A contribution of INM-INTA Group to the TRACAS EU Project, European Commission.

Cuevas, E., J. M. Sancho, M. Schneider, 2001: Análisis de Procesos de Intercambio Estratosfera-Troposfera asociados al Chorro Subtropical no perturbado, V Simposio Nacional de Predicción, INM, Madrid, Noviembre de 2001, disponible en CD.

Cuevas, E., J. Rodríguez, 2001: Estadísticas de Depresiones Aisladas en Niveles Altos, V Simposio Nacional de Predicción, INM, Madrid, Noviembre de 2001, disponible en CD.

Holton, J.R., 1979: An Introduction to Dynamic Meteorology, 2nd Edition, pp 391.

Kowol-Santen, J., G. Ancellet, E. Cuevas, 1999: Analysis of Transport Across the Subtropical Tropopause, Proceedings Fifth European Symposium on Stratospheric Ozone, St Jean de Luz (France), 27th of September to 1st of October 1999.

Kowol-Santen, J., G. Ancellet, E. Cuevas, 2000: Transport across the Subtropical Tropopause: Observations and Model Guided Analysis, Quadrennial Ozone Symposium - Sapporo 2000 -, Sapporo, Hokkaido, Japan, 3 - 8 July 2000.

Timmis, C., G. Vaughan, E. Cuevas, Z. Xiangdong, 1999: Evidence of Exchange between the Troposphere and Stratosphere in the Region of the Subtropical Jet Stream, IUGG, The 22nd Union General Assembly, Birmingham (United Kingdom), July 19-30, 1999.