



# Comportamiento anómalo del vórtice antártico en Septiembre de 2002 a partir de datos de espectroscopia en el rango visible y ozonosondeos.

## *Anomalous behavior of the antarctic vortex in September 2002 as observed by visible spectroscopy and ozonesoundings*

M. Concepción Parrondo<sup>(1)</sup>, M. Yela<sup>(1)</sup>, M. Gil<sup>(1)</sup>, S. Rodríguez<sup>(1)</sup>, J. Araujo<sup>(2)</sup>, H. Ochoa<sup>(2)</sup>, G. Deferrari<sup>(3)</sup> y S. Díaz<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>INTA, Área de Investigación e instrumentación Atmosférica, Carretera de Ajalvir km.4, 28850 Torrejón de Ardoz, España, parrondosc@inta.es

<sup>(2)</sup>Dirección Nacional del Antártico/Instituto Antártico Argentino, C/Cerrito 1248, Buenos Aires, Argentina, atmosfera@dna.gov.ar

<sup>(3)</sup>Centro Austral de Investigaciones Científicas, Ushuaia, Argentina, subediaz@satlink.com

### SUMMARY

The record of NO<sub>2</sub> total column and ozone obtained by visible spectroscopy at Ushuaia (55°S, 68°W), Marambio (64°S, 55°W) and Belgrano (78°S, 35°W) and electrochemical ozonesoundings from the later station provide insight into the unusual major warming and vortex break-up event observed above Antarctica in the last week of September. From September 18 to 25 the temperature increased from below NAT to 230K at the isentropic level of 550 K peaking at the isentropic level of 700-750K with 54° of increase. The anomaly in temperature was observed down to the level of 310K in which a well defined tropopause was established. From comparison of the ozone profiles before and during the event, it can be seen that, although the total column rose from 155 DU to 350 DU, the increase in O<sub>3</sub> takes place basically above 500K, rising dramatically from 4 to 20 mPa at 700K, but the layer where the ozone hole occurs is barely affected. Although the vortex was weaker than in previous years, the PV values from 400 K to 500 K do not show any evidence of anomaly at Belgrano, and are representative of in-vortex air. Above 550K, on the contrary, a very strong reduction in PV was observed, confirming that the vortex split was confined to heights above the layer of the Antarctic spring depletion. The signature of poleward transported air is clearly visible from the NO<sub>2</sub> column departure from the envelope of the previous years in all three stations. At Belgrano a NO<sub>2</sub> column larger than typical for the season by a factor of 4-5 is observed, peaking at  $5 \times 10^{15}$  molec.cm<sup>-2</sup> on September 25 to 29th. The diurnal variation, almost lacking at Southern Hemisphere high latitudes in spring, resembles that of fall, providing further evidence of non-denitrified extra vortex air.

### 1. INTRODUCCIÓN.

Durante los meses de invierno y primavera del Hemisferio Sur del 2002 se observó un comportamiento anómalo del vórtice polar con respecto a años anteriores. El episodio de mayor interés fue el ocurrido a finales de Septiembre cuando el vórtice polar se distorsionó dando lugar a la ruptura del mismo en dos partes (Newman and Nash, 2003). La parte oeste se desplazó hacia el Pacifico y se diluyó dos semanas más tarde, mientras que la parte este se reforzó, recobrando su posición circumpolar en Octubre. Este tipo fenómenos que ocurren normalmente en el Hemisferio Norte se producen debido a un calentamiento brusco de la estratosfera, sin embargo, en el Hemisferio Sur no habían sido observados hasta la fecha.

### 2. DATOS.

En año 1993, el INTA en colaboración con la DNA puso en marcha un programa para la monitorización de la columna total de NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> con la instalación de tres espectrómetros basados en la técnica de espectroscopia de absorción diferencial (DOAS) midiendo al cenit en las estaciones de Ushuaia (55°S), Marambio (64°S) y Belgrano (78°S) (Yela et al., 1998). En esta última, el programa de medidas se amplió con la instalación de un ozonosondeador en febrero de 1999 para la obtención de perfiles verticales de ozono.

Los datos de NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> obtenidos en las tres estaciones durante el periodo de estudio se compararán con la onda estacional media obtenida a partir de los concentraciones totales obtenidas entre los años 1994-2001 con el fin de poner de manifiesto las consecuencias de tal fenómeno. Para la interpretación de los valores observados se han utilizado los campos de vorticidad potencial obtenidos del ECMWF en los niveles isentrópicos de la baja estratosfera y las retro trayectorias isentrópicas calculadas por la Free University de Berlin.

### 3. RESULTADOS

Los datos de la columna total de NO<sub>2</sub> en las tres estaciones durante el invierno y primavera del 2002, se han comparado con la

onda estacional media (Figura 1). Los resultados ponen de manifiesto que debido a la rotura del vórtice a finales del mes de Septiembre de 2002, los valores de NO<sub>2</sub> registrados en las tres estaciones fueron mucho más altos que los valores medios. En particular, en la estación de Belgrano estos valores fueron ocho

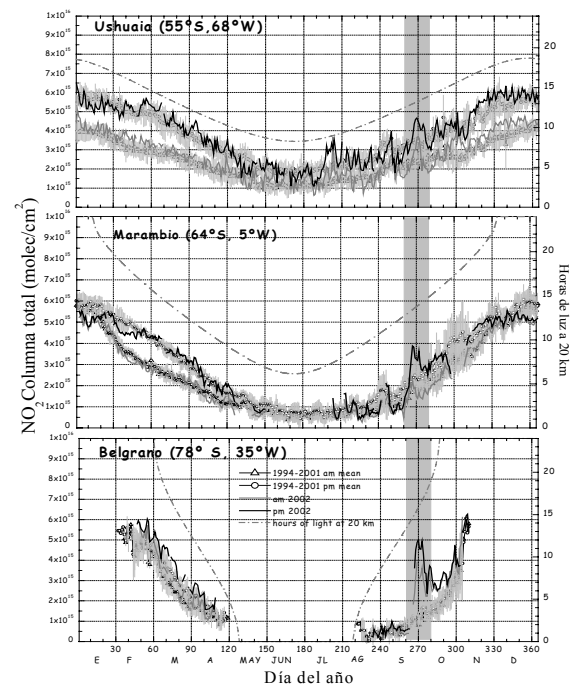
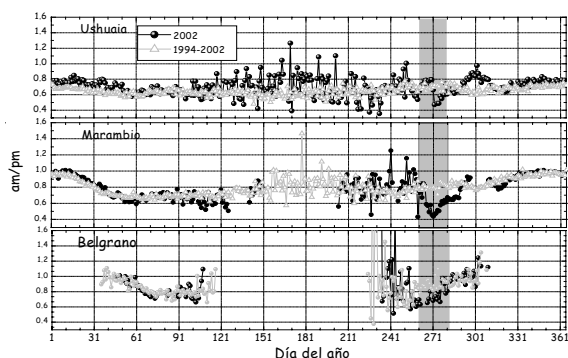


Figura 1 – Onda estacional de la columna total de NO<sub>2</sub> en Ushuaia, Marambio y Belgrano. Superpuestos se presentan los datos de NO<sub>2</sub> correspondientes al año 2002. El área sombreada muestra el periodo objeto de estudio. (Mean Daily evolution of NO<sub>2</sub> total column (1993-2001). Superposed 2002 NO<sub>2</sub> data).



veces superiores a los normales. Hay que destacar que mientras los valores medios de la columna total de NO<sub>2</sub> en Belgrano son menores que en las otras dos estaciones durante esa época del año, es en esta estación, donde se registran las máximas concentraciones de NO<sub>2</sub> durante el episodio que estamos estudiando. Dado que las variaciones en el contenido total de NO<sub>2</sub> dependen, entre otros factores, de la temperatura en la baja estratosfera, se ha analizado el comportamiento de la temperatura en los niveles entre 20 y 30 hPa para este periodo en las tres estaciones. Los resultados parecen indicar que el fuerte incremento de la temperatura en los niveles entre 20 y 10 hPa dieron lugar al aumento de la concentración de NO<sub>2</sub>.

Otro parámetro que presentó un comportamiento anómalo con respecto a años anteriores es la variación diurna o relación entre la concentración de NO<sub>2</sub> medida por la mañana y durante la tarde anterior.



**Figura 2. Evolución media NO<sub>2</sub> am/pm (línea gris) superpuesta a los valores de 2002 (línea negra) en las tres estaciones. (Mean seasonal evolution of NO<sub>2</sub> am/pm (gray line) superimposed to ratio for 2002 (black line) at the three stations.)**

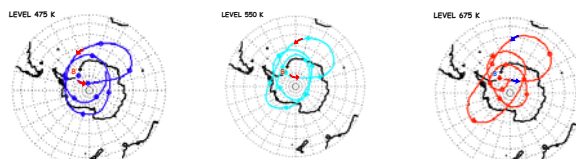
Se ha observado que en las tres estaciones esta relación es menor que los valores medios durante el periodo de la rotura del vórtice (Figura 2). Este hecho es debido en parte al incremento de temperatura en la estratosfera que inhibe la conversión de N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a HNO<sub>3</sub> dando lugar a un aumento de la concentración de NO<sub>2</sub> por la tarde a partir de la fotodisociación del N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Por otra parte, este incremento de NO<sub>2</sub> parece ser debido a la intrusión de aire de latitudes medias en los niveles altos (Figura 4).

Durante los meses de invierno y primavera del Hemisferio Sur la distribución y evolución del ozono a latitudes altas está principalmente gobernada por reacciones químicas heterogéneas, siendo los factores dinámicos de menor importancia. Dado que la

ozono se repiten año a año, salvo en raras excepciones (Hofmann et al., 1997). Sin embargo, dadas las condiciones meteorológicas observadas durante el mes de Septiembre de 2002, la evolución del contenido total de ozono presentó un comportamiento anómalo con respecto a años anteriores.

Los datos de los sondeos de ozono realizados en la estación de Belgrano los días 18 de Septiembre (18S), antes de la distorsión del vórtice, y 25 de Septiembre (25S), cuando el vórtice se rompió en dos partes, proporcionan una amplia información sobre la magnitud de las consecuencias de este fenómeno (Figura 3). La columna total de ozono integrada para ambos días es 156 y 337 D.U. respectivamente. El perfil vertical del día 25S presenta una distribución anómala por encima de los 550 K con respecto al día 18S. Las anomalías más significativas se observan en el nivel isentrópico de 720 K, siendo la concentración de ozono siete veces mayor que en el sondeo previo a la ruptura del vórtice. Por lo tanto, las diferencias en el valor integrado entre los dos días se deben al fuerte aumento de la concentración de ozono por encima de los 550K. Es de destacar el incremento de temperatura que se produjo entre los niveles isentrópicos entre 320 y 700 K, siendo las diferencias máximas en el nivel de 700 K.

Para conocer mejor las causas que dieron lugar al fuerte incremento en la columna total de ozono y NO<sub>2</sub> tras la ruptura del vórtice se han utilizado las retrotrayectorias isentrópicas calculadas por la Free University de Berlin para el día 25 de Septiembre de 2002 en Belgrano así como los campos de vorticidad potencial para este día en los niveles isentrópicos de 475, 550 y 675 K. (Figura 4)



**Figura 4. Retrotrayectorias isentrópicas en los niveles de 475K (panel izquierdo), 550 K (panel central), y 675 K (panel derecho) en la estación de Belgrano el día 25 de Septiembre de 2002. (Backward isentropic trajectories for the levels 475K (left panel), 550 K (central panel) and 675 K (right panel) on September 25 at belgrano station.)**

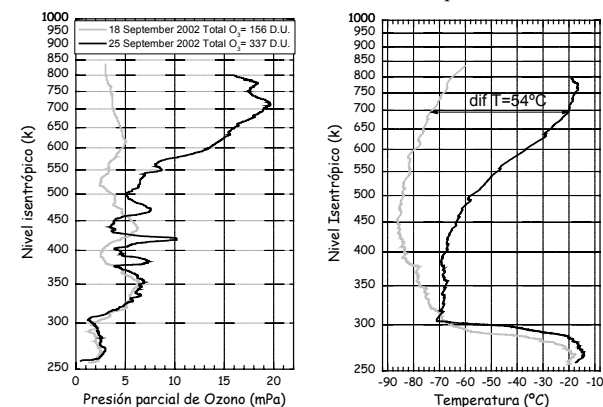
Se observa una procedencia diferente de las masas de aire que llegan a la estación de Belgrano en los distintos niveles de estudio. En el nivel más alto (675K), las masas de aire proceden de latitudes medias, dando lugar al fuerte incremento de ozono en los niveles por encima de los 550 K, así como de NO<sub>2</sub>. Por otra parte, en los niveles de 475 y 550K las masas de aire provienen de la frontera e interior del vórtice, lo cual explica la estructura laminar de la distribución de ozono observada en estos niveles, típica de la baja estratosfera Ártica (Bird et al. 1997).

#### 4. REFERENCIAS

Bird, J.C., S. R. Pal, A. I. Carswell, D.P. Donovan, G.L. Manney, J.M. Harris and O. Uchino, Observations of ozone structures in the Arctic polar vortex, *J. Geophys. Res.*, Vol 102, N° D9, 10785-10800, 1997  
 Hofmann, D.J., S. J. Oltmans, J. M. Harris, B. J. Johnston and J.A. Lathrop, Ten years of ozonesonde measurements at the south pole: Implications for recovery of springtime Antarctic ozone, *J. Geophys. Res.*, Vol 102, D7, 8931-8943, 1997  
 Newman P.A. and E. R. Nash, The unusual Southern Hemisphere Stratosphere winter of 2002, Submitted to *JAS* 2003.  
 Yela, M, S. Rodríguez, M. Gil and H. Cazeneuve, NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> total column at three different latitudes in the Antarctic Region from Ground-Based Visible Spectroscopy, *Atmospheric Ozone Ed.*, R.D. Bojkov and G. Visconti, 237-240, 1998

#### Agradecimientos.

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el programa Antártico Español (ANT97-0433, REN2000.0245-C02/01). Los datos de vorticidad y temperatura en niveles isentrópicos han sido obtenidos del ECMWF a través de la base de datos de NILU. Los datos de temperatura en los niveles isobáricos han sido obtenidos del NCEP. Las trayectorias isentrópicas han sido calculadas por E. Reimer (Free University of Berlin) y Holger Deckelmann (AWI -Potsdam)..



**Figura 3 - Distribución vertical de ozono (panel izquierdo) y temperatura (panel derecho) en Belgrano los días 18 de Septiembre (línea gris) y 25 de Septiembre (línea negra). (Vertical ozone distribution (left panel) and temperature (right panel) at Belgrano on 18<sup>th</sup> Septiembre (gray line) and 25<sup>th</sup> Septiembre (black line).)**

temperatura en la baja estratosfera durante los meses de invierno permanece por debajo del umbral de formación de PCS y que la variabilidad interanual es pequeña, los procesos de destrucción de