



# Observaciones desde tierra en el interior del agujero de ozono antártico durante 1999 *Ground based observations in the core of the Antarctic ozone hole in 1999*

Margarita Yela<sup>(1)</sup>, Santiago Rodríguez<sup>(1)</sup>, Manuel Gil<sup>(1)</sup>, Concepción Parrondo<sup>(1)</sup> y Ricardo Ozu<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> INTA, Carretera de Ajalvir km 4, 28850 Torrejón de Ardoz, España, yelam@inta.es

<sup>(2)</sup> DNA/IAA, C/Cerrito 1248, Buenos Aires, Argentina, atmosfer@abaconet.com.ar

## SUMMARY

A long term monitoring program for NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> column by visible spectroscopy in the Antarctic region was initiated in February 1994 by an Agreement between INTA (Spain) and DNA/IAA (Argentina). At that time three unattended scanning spectrometers operating in short spectral ranges for NO<sub>2</sub> (430-450 nm) and O<sub>3</sub> (470-490 nm) observations were deployed at Antarctic region. The stations are separated by 10° in latitude providing a good information inside, outside and at the edge of the polar vortex, and very close in longitude providing meridional cross-sections across the vortex.

In 1999 activities were improved with a ozonesounding program in the Belgrano station (Continental Antarctica, 78°S, 35°W). The results of the first year of ozonesounding data and 1999 spectrometer data are presented and the main features found are highlighted. The seasonal evolution of NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> column is briefly discussed.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde 1994, el INTA en colaboración con DNA/IAA (Dirección Nacional del Antártico/Instituto Antártico Argentino) de Argentina, tiene instalados tres espectrómetros en el entorno de la región antártica (55°S, 64°S y 78°S) para la medida continuada de la columna total de ozono y de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) con el fin de estudiar el comportamiento de estos gases, cuyo centro de masas se encuentra en la estratosfera, a lo largo del año. Las estaciones están separadas 10° grados en latitud, suministrando información de lo que ocurre dentro, fuera y en la frontera del vórtice polar antártico. La técnica empleada, basada en la espectroscopía de absorción diferencial en el visible usando la radiación cenital durante los crepúsculos (DOAS), está particularmente indicada en las regiones polares, donde las medidas a sol directo no pueden realizarse durante extensos periodos.

El año pasado, 1999, la red de medidas se amplió con la instalación de un sondeador de ozono en la base argentina Belgrano II (78°S, 35°W) para permitir conocer la distribución vertical de ozono durante el periodo de formación, desarrollo y desaparición del "agujero de ozono". Los ozonosondeos comenzaron en mayo de ese año.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos por el espectrómetro instalado en la base Belgrano II así como por el ozonosondeador durante el año 1999.

## 2. INSTRUMENTACIÓN

El espectrómetro utilizado es un espectrómetro de barrido (EVA, de Espectroscopía de Absorción en el Visible) que opera en el rango de 430 - 450 nm para la medida del NO<sub>2</sub> y en 470 - 490 nm para la medida de Ozono.

Se trata de un instrumento totalmente automático controlado por un PC y regulado en temperatura, que le permite operar en el exterior a pesar de las condiciones meteorológicas extremas que tiene que soportar (Yela et al. 1997).

El instrumento utilizado para la obtención de perfiles verticales de ozono es un instrumento comercial, Digicora-15 y los sensores de ozono utilizados son de tipo electroquímico (ECC).

## 3. RESULTADOS

Las observaciones espectrométricas durante los crepúsculos son solo posibles durante 2 periodos de tres meses, a finales de verano y principios del invierno austral y durante la primavera, debido a la situación geográfica de Belgrano. En la figura 1, panel (b) se presenta el número de horas de luz a 20 km de altura sobre la estación (altura en la que se considera está el máximo de la capa de NO<sub>2</sub>) donde se observan los dos periodos antes mencionados.

Belgrano está normalmente localizada dentro del vórtice polar alcanzándose temperaturas en la estratosfera por debajo de la

temperatura teórica de formación de las PSC (Nubes Estratosféricas Polares) del tipo NAT durante buena parte del año.

En la figura 1 se presentan las columnas totales de NO<sub>2</sub> y de O<sub>3</sub> obtenidos durante el año 1999. En el panel (a) se muestran los valores de NO<sub>2</sub>, observándose una fuerte asimetría entre la disminución producida en el otoño y el aumento de la primavera. El descenso en otoño está correlacionado con la disminución del número de horas de luz y la temperatura en la baja estratosfera. Esta disminución es el resultado de la conversión del NO<sub>2</sub> a N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> que actúa como especie almacén. Por el contrario, el aumento durante la primavera está retrasado dos meses respecto de lo que cabría esperar en función de las horas de luz, es decir, la concentración de NO<sub>2</sub> no

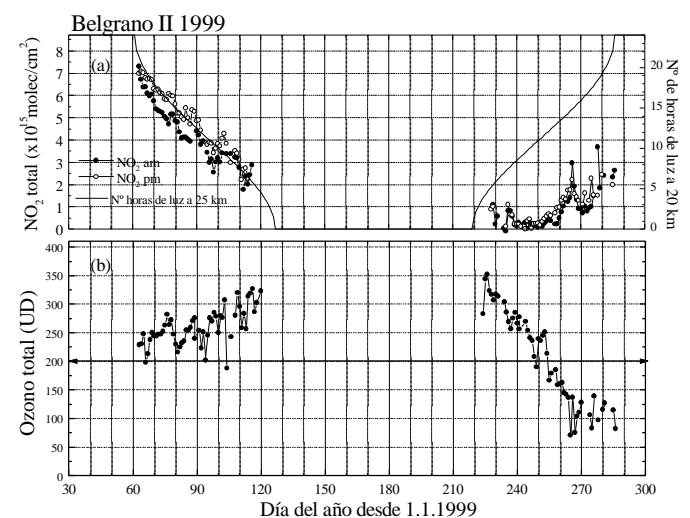
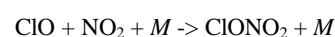


Figura 1 - Evolución de la columna total de NO<sub>2</sub> (panel (a)) y del O<sub>3</sub> durante el año 1999 junto con el número de horas de luz a 20 km de altura (panel (a)). (Evolution of NO<sub>2</sub> total column (panel (a)) and O<sub>3</sub> total column during 1999, hours of light at 20 km are included in panel (a))

aumenta a pesar de producirse un aumento en la radiación solar. Este resultado indica que no existe N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en esa época del año en la atmósfera antártica.

Como algunos autores han puesto de manifiesto (Fahey et al. 1990), el N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se hidrata en las partículas de las PSCs formando HNO<sub>3</sub> durante el invierno, aumentando sus dimensiones hasta que las partículas poseen tamaño suficiente para sedimentar. De esta forma, a la llegada de la primavera la estratosfera está completamente desnitrificada. En estas condiciones el cloro activo (ClO), puede destruir catalíticamente O<sub>3</sub> sin desactivarse



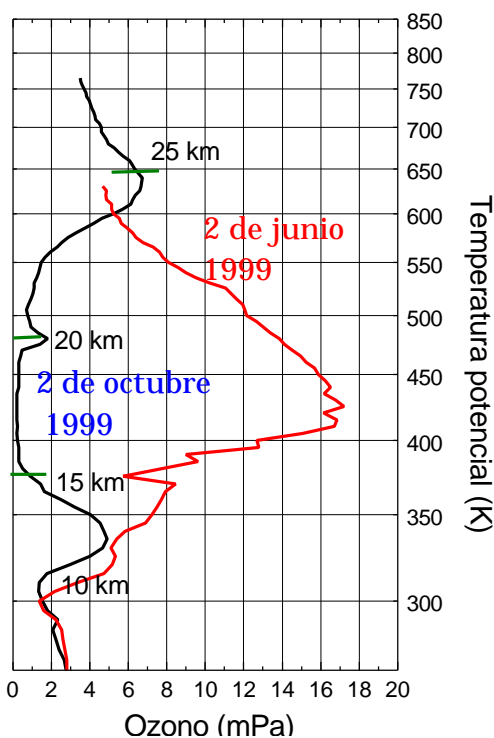


Tanto durante el otoño como durante la primavera se encuentran superpuestas oscilaciones de corto periodo producidas por las ondas planetarias.

En el panel (b) de la figura 1 se muestra la evolución de la columna total de O<sub>3</sub>. En primavera la disminución es observable desde el día 3 de agosto (día 215 en la figura) hasta el día 275 (2 de octubre), fecha en la que se produce el valor mínimo. En ese periodo la disminución que se produce es de 4.85 UD por día, este valor está de acuerdo con lo medido en McMurdo en 1993 (Johnson et al. 1995) y modelizado por Shindell y de Zafrá (1996) como una función de tiempo a partir de observaciones de CIO e incluyendo en el modelo un descenso vertical de masas de aire con velocidades de 50 metros por día entre 10 y 24 km.

Es interesante observar que el proceso de destrucción continua aún después de la reparación del NO<sub>2</sub>, lo que nos indica que ésta tiene lugar en las capas altas, donde el ozono no se ve afectado.

En la Figura 2 se muestran dos perfiles de O<sub>3</sub> obtenidos sobre la estación en días con situaciones muy distintas. El del día 2 de junio corresponde a una situación típica de invierno, previo a la masiva destrucción de ozono, con 24 horas de oscuridad y con una concentración de O<sub>3</sub> total de 286 UD. El segundo (2 de octubre) corresponde al día en que se alcanzó el valor más bajo, como vimos anteriormente, llegando casi a desaparecer entre 15 y 20 km, el valor de la columna total integrada de O<sub>3</sub> fue de 106 UD. El tiempo requerido para la casi completa destrucción es de 54 días desde la aparición de la radiación solar en la estratosfera sobre la estación.

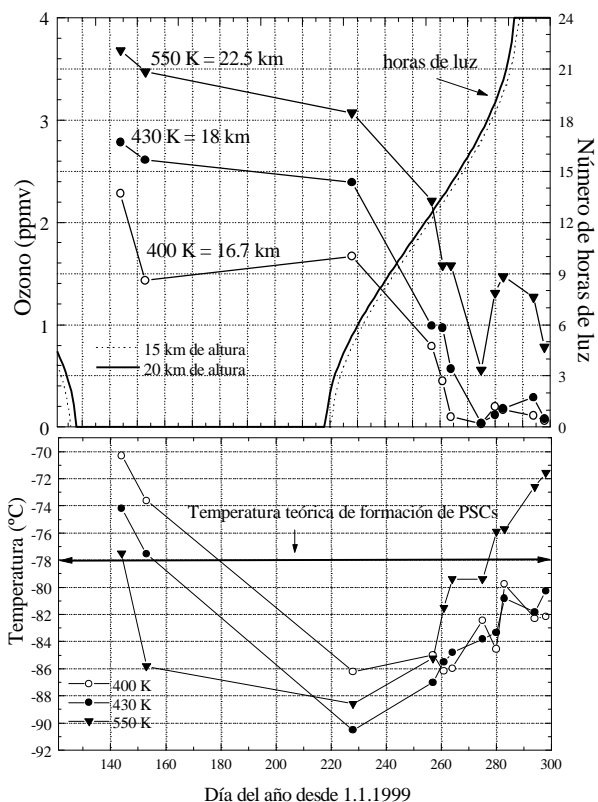


**Figura 2 - Perfiles verticales de O<sub>3</sub> obtenidos en Belgrano los días 2 de junio (día 153) y 2 de octubre (día 275). (O<sub>3</sub> profiles observed at Belgrano on 2 June (153 day) and 2 October (day 275))**

En la Figura 3 (panel inferior) se muestran las temperaturas en los niveles isentrópicos de 400, 430 y 500 K procedentes de los ozonosondeos realizados en Belgrano. Es de destacar que desde el día 150 (30 de mayo) hasta finales de octubre la temperatura se mantuvo por debajo de la temperatura teórica de formación de PSC en los niveles de 400 y 430 K.

En el panel superior de la figura 3 se presenta la evolución de la proporción de mezcla del ozono durante parte del año 1999. Aunque el número de ozonosondeos realizados es escaso, es, sin embargo, suficiente para apoyar y confirmar lo observado con el

espectrómetro. Se han elegido esos niveles como representativos de distintas alturas. Se observa una fuerte disminución en los tres niveles estudiados y que alcanza su valor mínimo el día 275. Los



**Figura 3 - Evolución de la proporción de mezcla del O<sub>3</sub> en los niveles isentrópicos de 400, 430 y 550 K (panel superior). En el panel inferior temperaturas a esos mismos niveles. Los datos proceden de los ozonosondeos realizados en la estación durante el año 1999. (Evolution of O<sub>3</sub> mixing ratio in ppmv (upper panel) and temperature (low panel) during 1999 observed by ozonesoundings)**

días posteriores se produce una recuperación, sobre todo observable en el nivel de 550 K, debido a la entrada de masas de aire ricas en O<sub>3</sub> mientras que en los de 400 y 430 K este efecto no es tan marcado. Este hecho es un indicador del grado de aislamiento que existe entre los distintos niveles en la estratosfera. Superpuesta a esta tendencia se observa en el nivel de 550 K una oscilación de periodo corto producida por la rotación y elongación del vórtice polar durante ese periodo.

#### 4. REFERENCIAS

- Fahey, D.W., K.K. Kelly, S. R. Kawa, A.F. Tuck, M. Lowenstein, K.R. Chan and L.E. Heidt (1990): "Observations of denitrification and dehydration in the winter polar stratospheres", *Nature*, **344**, 321-324.
- Johnson B.J., T. Deshler and R. Zhao (1995): "Ozone profiles at McMurdo station, Antarctica during the spring of 1993: Record low ozone season", *Geophys. Res. Lett.* **22**, 183-186.
- Shindell, D.T. y R.L. de Zafrá. (1996): "Chlorine monoxide in the Antarctic spring vortex.. 2. A comparison of measured and modelled diurnal cycling over McMurdo Station, 1993". *J. Geophys. Res.*, **101**, 1475-1487.
- Yela, M., S. Rodriguez, M. Gil y H. Caceneue (1997): " NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> total column at three different latitudes in the Antarctic region by ground-based spectroscopy". *Atmospheric Ozone. Proc. Ozone Symposium*, L'Aquila, Eds.. R.D. Bojkov and G. Visconti, 237-240.

**Agradecimientos.** Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el PNIA (Programa Nacional de Investigación en la Antártida) de la CICYT.