



# Análisis de los episodios de bajo contenido en ozono en la estratosfera subártica durante los inviernos 1992-2005.

## *Analyses of episodes with low ozone in the subarctic stratosphere during the winter 1992-2005*

Parrondo M. C.<sup>(1)</sup>, Gil M<sup>(1)</sup> and J. Kristinsson<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Área de Observación de la Tierra, Teledetección y Atmósfera, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), Crta Ajalvir km 4, 28850 Torrejón de Ardoz, Madrid, España, parrondosc@inta.es

<sup>(2)</sup> Icelandic Meteorological Office, Islandia

### SUMMARY

*Ozone profiles from Keflavik station (64° N, 23° W) have been studied using ozonesounding measurements during the winter and spring months for 1992-2005. Episodes with extremely low ozone values at the isentropic level of 475 K have been analysed in detail. A classification of these episodes have been performed taking into account the relative position of the station with respect the polar vortex (inside of the polar vortex, outside the vortex and at the edge of the vortex). For the three cases, two different ozone distributions have been considered. The first one is similar to the well-know referred in the literature as ozone mini-holes. The second class is characterized by an irregular vertical distribution with extreme ozone values (maximum and minimum) with a limited vertical extent of a few hundred of meters. The results have showed that the mechanisms involved for each class are depended on the position of the station with respect to the polar vortex.*

## 1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha potenciado la investigación sobre la variabilidad de la distribución vertical de ozono debido a su implicación directa sobre el cambio climático y en el estudio del agujero de ozono en las regiones polares.

El INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial) en colaboración con el IMO (Icelandic Meteorological Office) estableció en el invierno 1991-92 una estación de sondeos en Keflavik (Islandia) (64° N, 23° W) con el fin de cubrir la región sub-ártica del Atlántico, donde la información era inexistente. Desde esta fecha se realizan sondeos de ozono durante los meses de invierno y principios de primavera. El análisis e interpretación de los episodios de bajo contenido en ozono son el objetivo del presente estudio (periodo 1992-2005).

## 2. DATA

Los datos de ozono empleados en el trabajo se han obtenido de los ozonosondeos realizados desde la estación de Keflavik (Islandia) durante los meses de invierno y primavera durante los años 1992-2005. Las sondas empleadas han sido del tipo ECC (Electrochemical Concentration Cell) comercializadas por Science Pump Corporation y radiosondas RS80 de la casa Vaisala. La técnica de medida se basa en la medida de la corriente eléctrica que se genera al reaccionar el ozono que entra en una celda electrolítica que contiene 3 ml de disolución de KI en el cátodo y 1.5 ml de disolución saturada de KI en el ánodo. [Komhyr, 1969].

Esta técnica de medida “in situ” presenta la ventaja de poder observar la estructura vertical de ozono durante todo el año, salvando el inconveniente que presentan los instrumentos que emplean radiación solar como fuente en las regiones donde la ausencia de radiación se extiende entre 2-4 meses.

Las retrotrayectorias isentropicas empleadas se han obtenido de la base de datos de NILU (Norsk Institutt for Luftforskning) y han sido calculadas a partir del algoritmo de Knudsen et al. [1996].

## 3. METODOLOGÍA

Para la identificación de los episodios extremos de ozono se ha considerado el nivel de referencia de 475 K (21 km) por ser éste un nivel intermedio que coincide con el de máxima concentración de ozono. Se han considerado episodios extremos aquellos cuyo contenido de ozono es inferior a la media -  $\sigma$  en el nivel de 475 K. Los parámetros y herramientas empleadas para analizar las causas que han dado lugar a las bajas concentraciones de ozono han sido la columna total de ozono integrada, la altura de la tropopausa, las

características del perfil y las retrotrayectorias de las masas de aire que llegan a la estación en diferentes niveles isentrópicos.

Para abordar la relación entre los episodios de bajo contenido en ozono y las retrotrayectorias isentrópicas éstas se han clasificado en tres grupos:

**Trayectoria subtropical:** Si la latitud mínima a lo largo de la trayectoria es menor que 32° N.

**Trayectoria de latitudes medias:** Si la latitud máxima es menor que 75° N y la latitud mínima mayor que 32° N.

**Trayectoria polar:** Si la latitud máxima es superior a 75° N.

Debido a la influencia del vórtice polar sobre la distribución vertical de ozono, se ha determinado para cada sondeo la posición relativa de la estación respecto al vórtice polar, estableciéndose tres grupos, región exterior al vórtice, región frontera e interior del vórtice. El criterio empleado para establecer la frontera del vórtice ha sido el desarrollado por Nash et al., [1996].

## 4. RESULTADOS

Los episodios de bajo contenido en ozono se han analizado en función de la posición relativa de la estación respecto al vórtice polar (exterior al vórtice, en la frontera y en el interior del vórtice). Para los tres casos se han identificado dos tipos de distribuciones verticales de ozono. El tipo A, se caracteriza por valores bajos de ozono (inferior al valor medio- $\sigma$ ) desde la troposfera (5-7 km) hasta la baja estratosfera ( $\approx$  23 km) y con alturas de la tropopausa altas. Estos episodios son conocidos en la bibliografía como “mini agujeros de ozono” [Newman et al., 1988]. En la figura 1 se muestran las distribuciones verticales de ozono correspondientes al tipo A, para los tres casos.

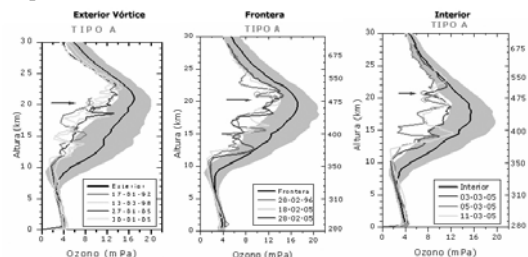


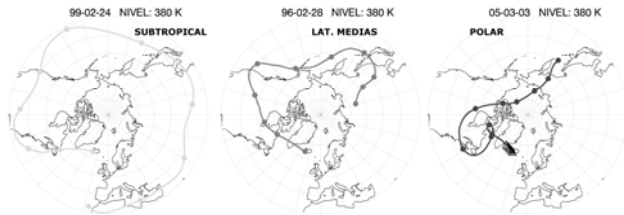
Figura 1 –Distribuciones verticales de ozono para los casos de bajo contenido en ozono correspondientes al tipo A para los tres casos. (Vertical ozone distributions for low ozone episodes, type A, for three cases).

Para estudiar la influencia de los procesos dinámicos en la ocurrencia de estos episodios se han analizado las procedencias de



las masas de aire que llegan a la estación de Keflavik en diferentes niveles isentrópicos durante 10 días.

En la figura 2 se muestran las retro trayectorias de 10 días de las masas de aire que llegan a la estación en tres episodios del tipo A, correspondientes a casos fuera del vórtice (panel izquierdo), frontera (panel central) e interior del vórtice (panel derecho).

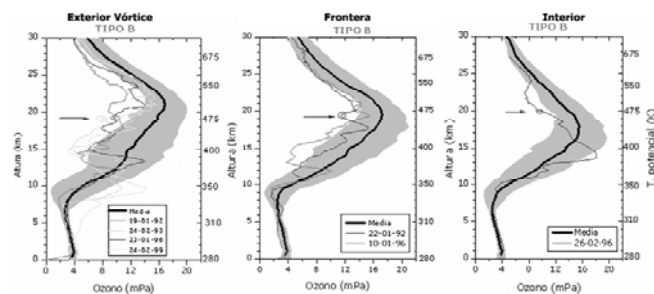


**Figura 2** –Retro trayectorias isentrópicas para los episodios de tipo A en el nivel de 380 K, correspondientes a situación fuera del vórtice (panel izquierdo), frontera (panel central) e interior del vórtice (panel derecho)

Los resultados indican que cuando la estación se encuentra en el **exterior del vórtice**, la tropopausa alta y los bajos valores de ozono asociados están motivados por la advección de masas de aire de origen subtropical en los niveles isentrópicos inferiores (380 K y 435 K). En los niveles superiores, los valores bajos se deben al ascenso adiabático de masas de aire procedentes de latitudes medias. En algunos casos el enfriamiento asociado puede dar lugar a destrucción química de ozono en las superficies de las PSCs. En **la región frontera** del vórtice, los valores bajos de ozono en los niveles inferiores de la estratosfera se deben al ascenso adiabático de masas de latitudes medias, mientras que en las capas más altas (475 K y 550 K) se producen por transporte de estructuras filamentosas del interior del vórtice con bajo contenido en ozono. En el **interior del vórtice** el ascenso adiabático de masas de aire de origen polar o latitudes medias cerca de la base del vórtice parece ser la causa de los valores bajos de ozono en los niveles inferiores estratosféricos. En las capas más altas el ozono dentro del vórtice se destruye químicamente.

Se ha establecido una segunda clase de perfiles verticales de ozono correspondientes a los episodios extremos de ozono para los tres casos. El tipo B se caracteriza por una distribución vertical irregular con valores extremos (máximos y mínimos) en una extensión vertical de unos cientos de metros. Estas estructuras son conocidas como “laminae” o “layering” y están asociadas a mecanismos de advección de masas de aire de diferente origen y a procesos de intercambio de aire en las regiones cercanas a la frontera del vórtice [Reid and Vaughan, 1991].

La figura 3 muestra las distribuciones verticales de ozono para los episodios del tipo B para cada uno de los casos (exterior, frontera e interior) junto con su correspondiente distribución media de ozono (línea negra gruesa).



**Figura 3** –Distribuciones verticales de ozono para los casos de bajo contenido en ozono correspondientes al tipo B para los tres casos.

Un análisis detallado sobre las retro trayectorias de las masas de aire en los niveles donde se producen las estructuras ha puesto de manifiesto que las condiciones que dan lugar al segundo tipo de perfil de ozono, tipo B, (estructuras laminadas) dependen de igual manera de la posición de la estación respecto al vórtice polar.

1. Casos “exterior del vórtice”: Las estructuras laminadas en este tipo de perfil se deben a la alternancia de la advección de masas de aire de origen subtropical y de latitudes medias en los diferentes niveles de altura donde se observan los mínimos y máximos.

2. Casos “región frontera”: las estructuras se deben a advección de masas de diferente origen en distintos niveles; en el inferior la masa de aire procede de latitudes medias y en el superior de regiones polares.

3. Casos “interior del vórtice”: sólo se ha observado un caso que responde a destrucción química en el interior del vórtice en el nivel donde se observa los valores bajos de ozono.

## 5. REFERENCIAS

- Knudsen, B. M., J. M. Rosen, N. T. Kjome, and A. T. Whitten (1996): "Comparison of analyzed stratospheric temperatures and calculated trajectories with long-duration balloon data". *J. Geophys. Res.*, **101**, 19137-19145.
- Komhyr, W. D. (1986): "Operations handbook-ozone measurements to 40 km altitude with model 4A electrochemical concentration cell (ECC) ozonesondes (used with 1680 MHz radiosondes)". *NOAA Tech. Memo. ERL ARL-149*, 49p, Air Resources Laboratory, Boulder, CO.
- Nash, E., P. Newman, J. Rosenfield, and y M. Schoeberl (1996): "An objective determination of the polar vortex using Ertel's potential vorticity". *J. Geophys. Res.*, **101**, 9471-9478.
- Newman, P. A., L. R. Lait, and M. R. Schoeberl (1988): "The morphology and meteorology of southern hemisphere spring total ozone mini-holes". *Geophys. Res. Lett.*, **15**, 923-926.
- Reid, S. J. and G. Vaughan (1991): "Lamination in ozone profiles in the lower stratosphere". *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, **117**, 825-844.