



Influencia de la variabilidad atmosférica de baja frecuencia sobre los episodios extremos de ozono en la estación subártica de Reikiavik (Islandia)

Influence of low frequency atmospheric variability on extreme ozone episodes at the Arctic station of Reykjavik (Iceland)

Parrondo M. C.⁽¹⁾ y E. Serrano⁽²⁾

⁽¹⁾ 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

⁽²⁾ Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, España, eserrano@fis.ucm.es

SUMMARY

The influence of the North Atlantic atmospheric low frequency variability on the ozone extreme events in the Arctic station of Reykjavik (Iceland) is analyzed for February, March and April through 1978-2005. The EOF analysis was used to obtain the main geopotential modes over the Atlantic region in seven pressure levels (1000-10 hPa) from monthly NCEP/ERA reanalysis data. The degree of connection between ozone extreme events in Reykjavik and atmospheric variability is quantified by a multiple stepwise regression. Results show that the first two geopotential EOFs at 10 hPa are identified as the most influencing modes on the ozone extreme events at Reykjavik, in such a way that an hybrid pattern of these modes explains up to 75% of the ozone variation observed in such extreme episodes. This hybrid atmospheric pattern indicates that extreme ozone anomalies appear connected with 10-hPa geopotential anomalies of same sign over the Arctic station.

1. INTRODUCCIÓN

La variabilidad del ozono estratosférico en las regiones polares está determinada por el equilibrio entre procesos dinámicos y químicos. Conocer la contribución de cada uno de ellos es fundamental para poder estimar la evolución de la capa de ozono. En las últimas décadas se ha dedicado un gran esfuerzo por conocer los mecanismos químicos responsables del “agujero” de ozono en los polos; sin embargo, recientemente los estudios se han focalizado en la influencia de los mecanismos dinámicos en la variabilidad del ozono y su impacto en el cambio climático.

Los primeros trabajos para cuantificar la influencia de la variabilidad atmosférica en el ozono se realizaron por Apenzeller et al. (2000). Éste y otros estudios consideraron la influencia de los principales patrones atmosféricos en la troposfera. Sin embargo, en el presente trabajo se analiza la influencia de la variabilidad de baja frecuencia en el ozono (en concreto, en episodios extremos) a partir de los patrones del geopotencial en niveles que abarcan desde la troposfera hasta la baja estratosfera (hasta 10 hPa).

2. DATOS Y METODOLOGÍA

En este trabajo se ha partido de valores medios mensuales del geopotencial en siete niveles isobáricos (desde 1000 hPa hasta 10 hPa) sobre la región del Atlántico Norte (100°W-30°E-20°N-80°N), con una resolución de 2.5°x2.5° en latitud-longitud, extraídos del reanálisis del NCEP/NCAR, (Kalnay et al., 1996). Además, se han usado los valores de la columna total de ozono medida con el espectrómetro Dobson instalado en Reikiavik (64°N, 23°W). El periodo de medidas considerado abarca los meses de febrero, marzo y abril desde 1978 hasta 2005.

Al tratarse de un estudio sobre VBF atmosférica se ha trabajado con anomalías mensuales, calculadas respecto al correspondiente valor medio mensual en todo el periodo (1978-2005). Los principales modos del geopotencial en cada nivel isobárico se han determinado aplicando la técnica de las *Funciones Empíricas Ortogonales* (EOFs) a las correspondientes anomalías mensuales (Barnston y Livezey, 1987). Por otra parte, se han identificado como casos extremos de ozono aquéllos en los que la anomalía estandarizada en valor absoluto es mayor que la unidad.

3. RESULTADOS

La figura 1 muestra la serie de anomalías mensuales de ozono en Reikiavik a lo largo de la secuencia de febrero-marzo-abril desde 1978 a 2005, identificándose 24 casos extremos. Mientras

que en los años ochenta se han observado, en general, anomalías extremas positivas de ozono, las negativas han ocurrido en los años noventa.

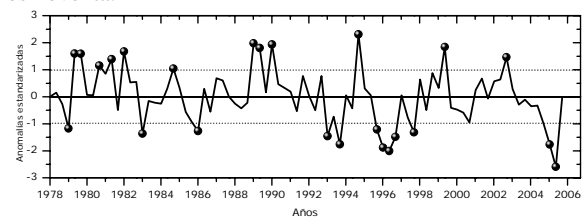


Figura 1 - Anomalías mensuales estandarizadas de ozono en la estación de Reikiavik para el periodo de estudio. Los círculos indican los episodios extremos de ozono. (*Monthly mean ozone anomalies at Reykjavik station over the studied period. The circles show the extreme ozone episodes.*)

El grado de conexión entre los patrones del geopotencial y las anomalías extremas de ozono se ha establecido a partir del coeficiente de correlación lineal entre éstas y los correspondientes valores en la serie temporal de las componentes principales (PCs) del geopotencial (tabla 1).

Tabla 1 – Correlación lineal entre anomalías mensuales extremas de ozono y los correspondientes valores de cada una las tres primeras PCs del geopotencial en varios niveles. En gris se destacan los coeficientes de correlación estadísticamente significativos al 99%. (Linear correlation between monthly extreme ozone episodes and each of the first three geopotential PCs for different levels. Values with statistical significance at 99% are shaded).

Nivel (hPa)	PC1	PC2	PC3
1000	0.58	0.30	-0.06
500	0.54	0.13	0.22
250	0.48	0.21	0.19
100	-0.19	0.56	0.50
50	-0.45	0.62	-0.47
30	-0.60	0.65	-0.37
10	-0.65	0.65	-0.18

Los resultados indican una correlación lineal estadísticamente significativa (con nivel de confianza del 99 %) entre los extremos mensuales de ozono y el primer modo del geopotencial en niveles



troposféricos (cuya estructura hemisférica presenta características comunes al conocido patrón NAO). Además, se obtiene que los dos principales patrones en niveles estratosféricos presentan una buena correlación con los casos extremos de ozono.

Para identificar los patrones del geopotencial que conjuntamente recojan la contribución atmosférica en la ocurrencia de extremos de ozono en Reykiavik, se ha realizado un análisis de regresión múltiple selectivo ‘paso a paso hacia adelante’ (Neter y Wasserman, 1974) partiendo de 21 PCs (tres por cada nivel). Mediante esta técnica, el número de PCs del geopotencial que aparecen relacionadas con las anomalías extremas de ozono se reduce considerablemente, al tener en cuenta que algunas de las PCs pueden no contribuir en la conexión o que su influencia esté implícita en alguna PC ya seleccionada. Con un nivel de confianza del 99%, el proceso selectivo de correlación múltiple establece que los dos primeros modos atmosféricos en 10 hPa determinan la ocurrencia de anomalías extremas positivas de ozono en Reikiavik. La expresión explícita de la regresión múltiple obtenida es:

$$[O_3]_{FMA} = (6.1 PC_{2_{10}} - 8.9 PC_{1_{10}} - 0.4) \cdot 10^{-1} \quad (1)$$

con un coeficiente de determinación múltiple ajustado de 0.75. Es decir, la combinación lineal expresada en (1) entre los modos 1 y 2 del geopotencial en 10 hPa como estimación de valores extremos de ozono en los meses de febrero, marzo y abril explicaría un 75% de la variación total observada de ozono.

En la figura 2 se muestra el patrón híbrido sobre todo el Hemisferio Norte entre las EOF2 y EOF1 del geopotencial en 10 hPa. En su construcción se ha tenido en cuenta las contribuciones de cada patrón dadas por la expresión (1). El signo de anomalías mostrado en la figura 2 está asociado a anomalías positivas extremas de ozono en Reikiavik (es decir, la misma estructura con signo opuesto correspondería a episodios negativos de ozono).

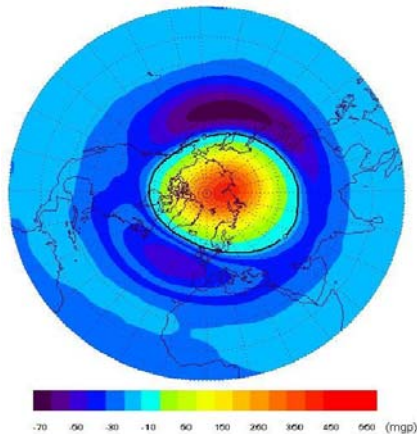


Figura 2 - Patrón híbrido entre las EOF-2 y EOF-1 del geopotencial en 10 hPa asociado a anomalías positivas extremas de ozono en Reikiavik. (Hybrid pattern of the first two EOFs of 10-hPa geopotential associated with extreme positive ozone anomalies at Reykjavik)

En la figura 3 se muestra el alto grado de coincidencia entre la evolución de las secuencias temporales de las anomalías estandarizadas extremas de ozono y aquellas estimadas usando la expresión (1) para el periodo de estudio.

Dado que la variabilidad climática de baja frecuencia no es la única causa que puede influir en la variabilidad del contenido total de ozono en Reikiavik, es lógico esperar que ciertos episodios extremos no sean adecuadamente estimados con la expresión (1). Por tanto, se postula que esos episodios corresponden a anomalías debidas a otro tipo de procesos. Aunque un estudio más detallado sería preciso para aclarar esta hipótesis, parece que los episodios nº 16 y nº 46, correspondientes a febrero de 1983 y de 1993 respectivamente, están relacionados con procesos de destrucción de ozono motivados por el aumento de aerosoles sulfatados en la atmósfera emitidos en la erupción del Chinchón (1982) y del Pinatubo (1991). Una evidencia de ello es que tras estas

erupciones, también se registraron episodios extremos de ozono en otras estaciones de medida (Hofmann, 1987; Kerr et al., 1993).

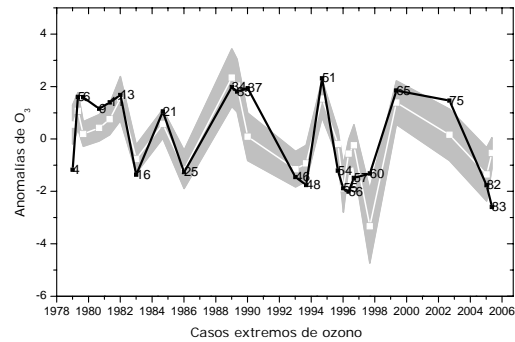


Figura 3 - Anomalías estandarizadas extremas de ozono en Reykiavik: valores observados [línea negra] y estimados por la regresión múltiple dada en (1) [línea blanca]. La banda sombreada muestra el intervalo de confianza del 99% para los valores estimados. Las etiquetas indican el nº de orden de los casos extremos en la serie temporal completa de 84 casos. (Standardised extreme ozone anomalies at Reykjavik: observed [black line] and estimated values from multiple regression (1) [white line]. Shading shows the confidence interval at 99% for estimated values. Labels indicate the position of extreme cases in the temporal series of 84 cases)

Otro episodio extremo de ozono que no es captado por la VBF es el nº 56 (marzo 1996), precisamente uno de los episodios más extremos de los registrados en el periodo de estudio. Esta anomalía mensual negativa de ozono tan extrema observada coincidió con bajas temperaturas estratosféricas registradas en Reikiavik durante ese mes, llegándose a alcanzar valores por debajo del umbral para la formación de las denominadas “nubes estratosféricas polares”, cuyo papel en los procesos de destrucción química de ozono es de suma importancia (Solomon, 1999).

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos parecen indicar que una parte importante de las anomalías extremas de ozono total observadas en la estación subártica de Reikiavik (Islandia) en los meses de febrero, marzo y abril están relacionadas con anomalías del mismo signo en el geopotencial a niveles estratosféricos del Hemisferio Norte. En concreto, un incremento en el gradiente meridiano de los campos del geopotencial contribuye a una intensificación del flujo zonal dificultando la penetración de ondas semiestacionarias a gran escala procedentes de la troposfera. Estas condiciones influyen, por una parte, en la estabilidad e intensidad del vórtice polar estratosférico, y a su vez, representan la principal fuente de transporte meridiano de ozono en la baja estratosfera desde la troposfera, de modo que el efecto de ambos factores se reflejan en las anomalías de ozono observadas.

5. REFERENCIAS

- Appenzeller, C., A. K. Weiss and J. Staehelin (2000): “North Atlantic Oscillation modulates total ozone winter trends”, *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 1131-1134.
- Barnston, A. G., and R. E. Livezey (1987): “Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns”. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 1083-1126.
- Hoffmann, D. J. (1987): “Perturbations to the global atmosphere associated with the El Chinchón volcanic eruption of 1982”. *Rev. Geophys.*, **25**, 743-759.
- Kalnay, E. and coauthors (1996): “The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project”. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-471.
- Kerr, J. B., D. I. Wardle and D. W. Tarasick (1993): “Record low ozone values over Canada in early 1993”. *Geophys. Res. Lett.*, **20**, 1979-1982.
- Neter, J. and W. Wasserman (1974): “Applied Linear Statistical Models”. Richard D. Irwin, Inc. Illinois. 842 pp.
- Solomon, S. (1999): “Stratospheric ozone depletion: A review of concepts and history”. *Rev. Geophys.*, **37**, 275-316.