

# Características de la QBO en el Ozono Estratosférico

Patricia Fernández de Campra<sup>1</sup> y Marta Zossi de Artigas<sup>2,3</sup>

(1) *Departamento de Ciencias de la Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán* [pfernandez@herrera.unt.edu.ar](mailto:pfernandez@herrera.unt.edu.ar)

(2) *Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán* [mzossi@herrera.unt.edu.ar](mailto:mzossi@herrera.unt.edu.ar)

(3) CONICET

**RESUMEN:** A fin de estudiar las características de la oscilación cuasi-bienal (QBO) en el ozono, en función de la región de la estratósfera considerada, se analizaron los datos del ozono, durante el período 1978-2003, considerando 8 capas diferentes, que varían entre 40 hPa y 1 hPa. El análisis se efectuó sobre latitudes tropicales y subtropicales. El comportamiento de la oscilación es similar en latitudes bajas y en el ecuador, para todas las capas consideradas, encontrándose picos en la amplitud de la señal, coincidentes con la fase descendente del ciclo solar en los ciclos 21 y 22. En latitudes medias, el comportamiento es diferente para cada hemisferio, la señal cuasi bienal presenta un máximo local de la oscilación, solo en el hemisferio norte, en la fase descendente del ciclo solar 21 y 22. En todos los casos analizados la amplitud de la periodicidad es notablemente menor en el ciclo 23.

## 1 INTRODUCCION

La oscilación cuasi-bienal (QBO) es una de las oscilaciones más importantes en la atmósfera. Fue descubierta en los vientos zonales en la baja estratósfera tropical, con un periodo aproximadamente de 27 a 30 meses, entre 10 hPa y 100 hPa, constituyendo también un rasgo característico de muchos procesos en la atmósfera. Se manifiesta como un viento descendente de régimen easterly (desde el este) que alterna con un viento de régimen westerly (desde el oeste), con período variable (Ebdon, 1960; Baldwin et al, 2001).

Los estudios teóricos se enfocaron inicialmente en la estructura vertical del fenómeno sobre el ecuador (Reed et al., 1961; Lindzen and Holton, 1968; Holton and Tan, 1980). Las primeras señales de la QBO en el ozono, se obtuvieron de observaciones en dos estaciones subtropicales (Funk and Garham, 1962). Desde la década del 70 las observaciones satelitales del ozono han mostrado que el fenómeno de la QBO es global (Lait et al, 1989; Bowman, 1989; Chandra and Stolarski, 1991, Randel and Cobb, 1994, Randel and Wu, 1996; Kane, 1994, Echer et al, 2004).

La cantidad de ozono total sobre la superficie de la tierra varía espacial y temporalmente a lo largo del globo, como consecuencia de la dinámica estratosférica. Es de esperar que el nivel de ozono sea mayor en los trópicos que en las regiones polares ya que es allí es donde se producen los

procesos que lo generan. Pero la distribución del ozono no es un simple balance entre la producción y la pérdida ya que los vientos estratosféricos pueden transportar el ozono fuera de la región de producción, modificando la distribución del mismo. La variación en altura del ozono también es un resultado de la lenta circulación que eleva el ozono desde la troposfera hasta la estratosfera. El aire troposférico pobre en ozono es enriquecido en la estratosfera mediante el proceso fotolítico de las moléculas de oxígeno, el cual es favorecido por la radiación solar. A medida que el aire sube en los trópicos, progresivamente va ganando ozono. Así, la mayor cantidad, se presenta entre los 16 y los 50 kilómetros, con una máxima concentración entre los 19 y 35 kilómetros,

A pesar que la QBO ecuatorial ha sido estudiada extensamente, el conocimiento acerca de su efecto global aún es incompleto. En particular poco se sabe acerca de la dependencia en altura en latitudes medias y altas (Sitnov, 2004)

El objetivo de este trabajo es analizar la variación temporal de la QBO en el ozono, considerando distintas capas de la estratosfera, aproximadamente entre 25 y 50 km, en latitudes medias y bajas.

## 2 DATOS Y METODOS DE ANÁLISIS

Se consideraron para el análisis promedios mensuales del contenido de ozono zonal en el ecuador y a latitudes medias, hasta 30° norte y sur, considerando 8 capas diferentes de la estratosfera (Tabla 1). Los datos de ozono corresponden a las mediciones efectuadas por el satélite Earth Probe con el sensor TOMS (Total Ozone Mass Spectrometer), en su versión 7, a través de la página web, <http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozoneother.html>, los datos están en unidades Dobson. El período de análisis fue durante los años 1978-2003, con un período sin datos, en los años 1995-1996.

Tabla 1. Distintas capas analizadas y rango de alturas de cada una de ellas

Capa	Rango de altura (hPa)
3	40,33 - 25,45
4	25,45 - 16,06
5	16,06 - 10,13
6	10,13 - 6,393
7	6,393 - 4,034
8	4,034 - 2,545
9	2,545 - 1,606
10	1,606 - 1,013

Con el objeto de identificar la oscilación cuasi bienal se empleó el método de onditas (wavelets), técnica de gran difusión en la actualidad, que representa una alternativa cuando los aspectos espectrales son dependientes del tiempo, ya que permite obtener información sobre la ubicación temporal de las frecuencias. La esencia de la transformada de wavelet está basada en la idea de descomponer la señal en “bloques” de forma constante, pero diferente tamaño (Daubechies, 1990). Se realizó un análisis de multiresolución, en el cual dada una señal  $S$ , esta se descompone en sucesivos niveles de aproximaciones y detalles. En cada nivel se reduce a la mitad el número de datos. Si denominamos  $A_0$  a la señal original, y si  $j$  indica el nivel,  $A_j$  representa la aproximación  $j$ -ésima que considera las frecuencias bajas, mientras que  $D_j$  (detalle  $j$ -ésimo) muestra las frecuencias altas.

$$\begin{aligned} S &= A_1 + D_1, \\ &= A_2 + D_1 + D_2 \\ &= A_3 + D_1 + D_2 + D_3 \end{aligned}$$

obteniéndose la descomposición de la señal en diferentes bandas de frecuencia. La descomposición de la serie se llevó a cabo usando

la función de Daubechies, una de las más utilizadas para el análisis discreto (Daubechies, 1988, 1992). Los cálculos se efectuaron usando la Wavelet Toolbox del MATLAB. Se consideran los coeficientes correspondientes al detalle 4,  $D_4$ , que representan el período de tiempo entre 2 y 3 años, correspondientes a la periodicidad cuasi bienal.

## 3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Del análisis de datos de TOMS, distintos investigadores (Bowman, 1989, Lait et. al, 1989, Chandra and Stolarski, 1991, Randel and Cobb, 1994), observaron que la QBO en el contenido total de ozono presenta cerca del ecuador ( $\pm 10^\circ$  latitud) una variación en fase con el viento ecuatorial a 30 hPa y fuera de fase con la señal en los trópicos (Randel and Wu, 1996). Echer et al. (2004) al estudiar la dependencia latitudinal de la QBO en el ozono total encontraron que el ozono está casi en fase, con la QBO en el viento ecuatorial ( $0^\circ$ - $5^\circ$  y  $5^\circ$ - $10^\circ$ ) y está fuera de fase en latitudes más altas.

En la Figura 1, se muestran valores promedios mensuales del índice  $R_z$ , que se calcula en función del número de manchas solares, y da una medida de la actividad en la parte visible del sol, la cual incide sobre la producción de ozono en la estratosfera. El periodo mostrado corresponde al estudiado en este trabajo y comprende parte del ciclo solar 21, el 22 completo y parte del ciclo 23.

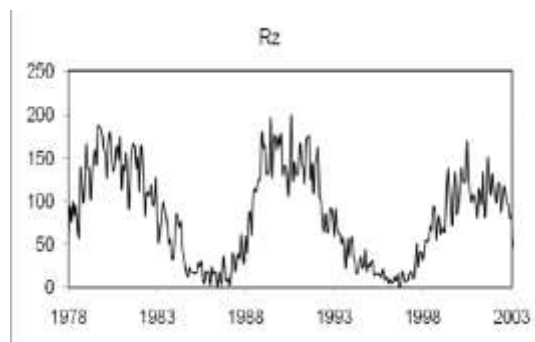
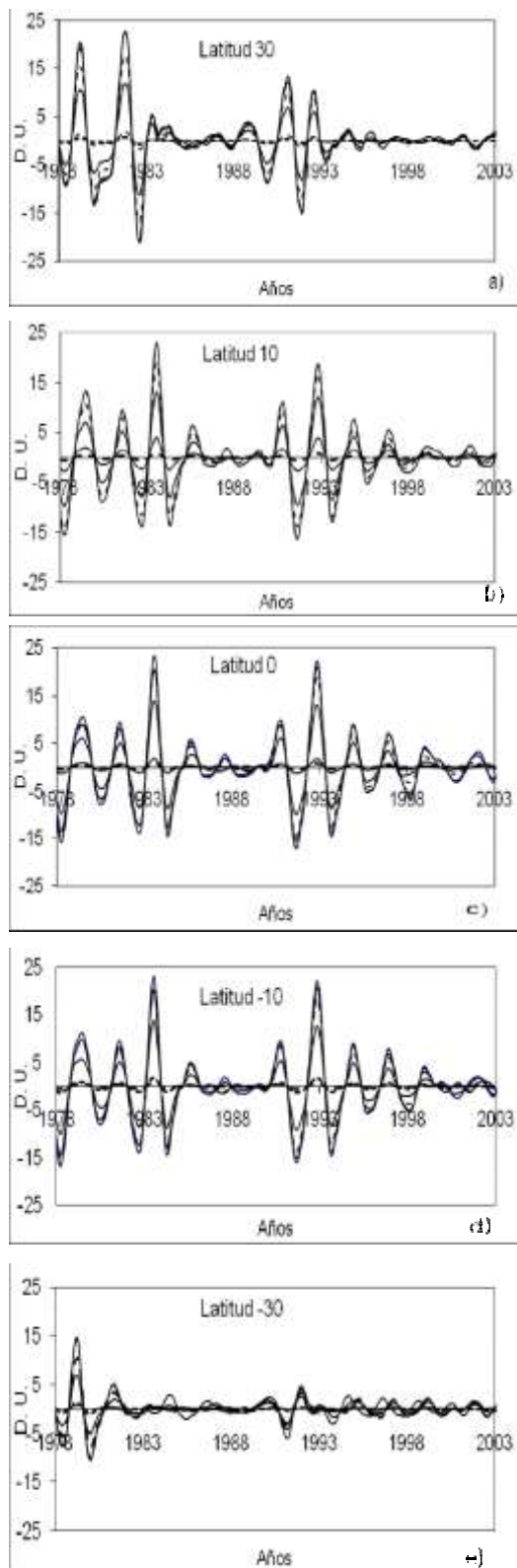


Figura 1. Serie de valores del índice  $R_z$ , en el intervalo 1978-2003.

En la figura 2 representamos los valores de la componente  $D_4$ , a  $30^\circ$  (a, e) y a  $10^\circ$  (b, d) en ambos hemisferios y en el ecuador (c). Como el patrón es similar para las distintas capas, se graficaron solo las dos capas más altas y más bajas y una intermedia, medidas en Unidades Dobson (D. U.).



Figuras 2. Componente D4, del promedio mensual del contenido de ozono, considerando distintas capas de la estratósfera ( 3, 4, 6, 9 y 10), y distintas latitudes, entre 1978 y 2003.

Observamos un comportamiento similar en las latitudes comprendidas entre  $\pm 10^\circ$ , con valores máximos en la amplitud de la oscilación, coincidentes con la fase descendente del ciclo solar para los ciclos 21 y 22, resultados que difieren con los de encontrados por Echer et al (2004). Quienes analizando la QBO en el ozono total encuentra que el máximo en la amplitud de la oscilación se da entre  $0^\circ$  y  $5^\circ$ , decreciendo hasta un mínimo entre  $10^\circ$  y  $15^\circ$ , aumentando nuevamente su amplitud hasta un máximo alrededor de  $35^\circ$ . Si consideramos las distintas capas vemos que la señal presenta picos de amplitud en las capas 3 y 4. Fadnavis et al.(2008) reportaron un estructura de doble pico en la amplitud de la QBO del ozono cerca del ecuador, con máximos cerca de 9 hPa y 22 Pa, atribuyendo esto a la circulación meridional inducida por la QBO. Al analizar latitudes medias observamos que, en el hemisferio norte, Fig. 2a), se presentan valores máximos, coincidentes con la fase descendente de los ciclos 21 y 22, en los otros años considerados la amplitud es notablemente inferior. Sitnov (2004), estudiando el ozono extratropical, observa máximos locales en la estructura vertical de la QBO del ozono, en latitudes medias del hemisferio norte, estos máximos se encuentran a 12, 20 y 30 km; los valores obtenidos en este trabajo muestran mayor amplitud de la señal en las capas 3 y 4 (alrededor de los 30 km). Si observamos la Fig. 2 e), la amplitud de la señal a los  $30^\circ$  del hemisferio sur es notablemente inferior a los otros valores observados, en todo el período analizado. Es sabido que ambos hemisferios muestran diferencias en la dinámica atmosférica en la alta troposfera y baja estratosfera de latitudes medias altas, siendo la actividad de las ondas atmosféricas mucho más baja en el hemisferio sur que en el hemisferio norte (Labitzke and van Loon, 1999).

Del análisis de los valores obtenidos podemos concluir que el aporte a la amplitud de la señal cuasi bienal en el contenido total de ozono no es uniforme, es mayor el correspondiente a las capas más altas. La amplitud de la señal de la QBO varía hasta en un orden de magnitud entre la capa 3 y la 10, esto estaría relacionado con la concentración de ozono en las mismas y con la dinámica atmosférica.

#### 4 REFERENCIAS

- Baldwin, M, P., L, J, Gray, T, J, Dunkerton, K, Hamilton, P, H, Haynes, W, J, Randel, J, R, Holton, M, J, Alexander, I, Hirota, T, Horinouchi, D, B, A, Jones, J, S, Kinnersley, C, Marquardt, K, Sato, and M, Takahashi, The Quasi-Biennial Oscillation, *Rev. of Geophys.*, 39, 179–229, 2001.
- Bowman, K.P. , Global patterns of the quasi-biennial oscillations in total ozone. *J. Atmos. Sci.*, 90, 7967-7976, 1989.
- Chandra, S. y Stolarski, R.S., Recent trends in stratospheric total ozone: Implications of dynamical and El Chichon perturbations, *Geophys. Res. Lett.*, 18, 2277-2280, 1991.
- Daubechies, I.: Orthonormal bases of compactly supported wavelets. *Comm. Pure Appl. Math.* 41, 906–966, 1988.
- Daubechies, I.: Ten lectures on wavelets, second ed. SIAM, Philadelphia, 1992.
- Ebdon, R.A., Notes on the wind flow at 50mb in tropical and subtropical regions in January 1957 and in 1958. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 86, 540–542, 1960.
- Echer E., Guarnieri, F. L, Rigozo, N.R., Vieira, L.E.A., A study of the latitudinal dependence of the quasi biennial oscillation in Total Ozone Mapping Spectrometer total ozone, *Tellus*, 56A, 527-535, 2004.
- Fadnavis, S. y Beig, G., Quasi-biennial oscillation in ozone and temperature over tropics, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 71, 257-263, 2009.
- Funk, J. P. y Garnham, G. L., Australian ozone observations and a suggested 24-month cycle. *Tellus*, 14, 378-382, 1962.
- Holton, J.R. y H.C. Tan, The influence of the equatorial quasi-biennial oscillation on the global circulation at 50 mb, *J. Atmos. Sci.* 37, 2200-2208, 1980.
- Kane, R.P., Interannual variability of some trace elements and surface aerosol. *International Journal of Climatology*, 14, 691–704, 1994.
- Labitzke K. and van Loon H., *The Stratosphere*. Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin, 1999.
- Lait, L. R., Schoeberl, M. R., and Newman, P. A., Quasi-Biennial Modulation of the Antarctic ozone depletion, *J. Geophys. Res.*, 94, 11,559-11,57, 1989.
- Lindzen, R.S. y J.R. Holton, A theory of the quasi-biennial oscillation. *J. Atmos. Sci.* 25, 1095-1107, 1968.
- Randel, W. J. and Cobb, J. B., Coherent variations of monthly mean total ozone and lower stratospheric temperature, *J. Geophys. Res.*, 99, 5433-5447, 1994.
- Randel, W. J. and Wu, F., Isolation of the ozone QBO in SAGE II data by singular decomposition, *J. Atmos. Sci.*, 53, 2546-2559, 1996.
- Reed, R. J., W. J. Campbell, I. A. Rasmussen and D. G. Rogers: Evidence of downward-propagating annual wind reversal in the equatorial stratosphere. *J. Geophys. Res.*, 66, 813-818, 1961.
- Sitnov, S.A., Vertical Structure of the extratropical quasi-biennial oscillation in ozone, temperature, and wind derived from ozonesonde data, *J. Geophys. Res.*, 101, Issue D8,12855-12866, 2004.