

Estudio Global de la Columna Total de Ozono Estratosférico usando datos de TOMS

José Luis Pinedo Vega, Carlos Ríos Martínez, Analeni Presbítero Perales, Leopoldo Quirino Torres†, Fernando Mireles García y José Ignacio Dávila Rangel

Global Study of Stratospheric Ozone Total Column using data from TOMS

Recibido: septiembre 10, 2008

Aceptado: octubre 15, 2008

Palabras clave: Capa de Ozono; datos TOMS; radiación UV

Abstract:

Daily records on a column of ozone, from the NASA program, TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) between November 1978 and May 2006 were used to assess the nature of the interannual variations of the ozone layer in twelve discrete latitudes a degree wide, symmetrical shape chosen in both hemispheres of the Earth. Treatment of the data shows the trends of the ozone column for each of these selected latitudes. Higher values of stratospheric ozone column observed in the midlatitudes and in the northern hemisphere. The overall performance shows that the destruction of ozone layer depends on the latitude. There is also a significant attenuation in the late 1990's, although it is clear that this is only an attenuation rather than a full recovery,

such attenuation had already been reported in the literature but for zonal mean values. The methodology used to study global trends of the ozone layer, using narrow bands of latitude, be original and is particularly useful for quantitative assessments to academic purposes.

Keywords: Ozone layer; TOMS data; UV radiation



A línea de investigación Espectroradiometría Solar inició en febrero del 2000 en el Centro Regional de Estudios Nucleares (CREN) de la UAZ, con financiamiento obtenido tras la convocatoria del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) a proyectos de investigación del año 2000, así como también con los recursos del programa de reparación asignados al responsable del proyecto. Ambos financiamientos permitieron equipar un laboratorio de espectroradiometría ultravioleta (UV) y visible, que comprende:

- un espectroradiómetro medidor de radiación que permite la obtención de espectros, con una resolución del orden 0.5 nm o menos,

- una estación meteorológica que permite medir: temperatura, presión, y humedad relativa ambiental así como la velocidad y dirección del viento,
- dos Pyranómetros, uno para Radiación Global Total (290-1600 nm) y otro para Radiación UV (290-400 nm)
- un banco óptico y lámparas de referencia.

La línea de investigación espectroradiometría solar tienen carácter teórico experimental, involucra mediciones, cálculos teóricos, cálculos numéricos, y su interpretación física.

Las mediciones de los primeros espectros de radiación UV solar en Zacatecas permitieron corroborar que los niveles de ozono en Zacatecas son elevados. Repitiendo esas mediciones a lo largo del año se pudo observar, que contrariamente a lo que se podía esperar, la radiación UV en invierno es mayor que en verano. Como la radiación total es más intensa en verano era de esperarse que la radiación UV también; pero encontramos que ocurría lo inverso. Estos resultados fueron publicados en la revista Geofísica Internacional [1].

Contrariamente a lo que se podía esperar, la radiación UV en invierno es mayor que en verano.

Hipótesis

¿Por qué los niveles de radiación UV sobre Zacatecas son significativamente más elevados en invierno que en verano? La hipótesis a priori fue, que debía existir una dependencia directa entre los niveles de radiación UV y el espesor de la capa de ozono estratosférico situado sobre Zacatecas. Para demostrar esta hipótesis, era necesario conocer los niveles de la capa de ozono sobre Zacatecas a lo largo del año.

DATOS SOBRE LA COLUMNA TOTAL DE OZONO ESTRATOSFÉRICO

La columna total de ozono estratosférico se reporta en Unidades Dobson (DU). Una Unidad Dobson corresponde

a 2.69×10^{16} moléculas por cm^2 lo cual es equivalente a la cantidad moléculas de O_3 sobre cada 1 cm^2 de superficie terrestre. El promedio global de la columna de ozono es de 300 DU, las cuales podrían ser equivalentes a una capa de 3 mm de grueso si se aislara el ozono.

Para conocer, los valores de la capa de ozono sobre Zacatecas, se pudo haber optado por medirlos, cosa que implicaba: gestión de financiamiento para compra de equipo, y en caso de éxito, asimilación de la técnica de medición, tiempo, etc.. Esta opción, indudablemente era atractiva en términos de asimilación y adquisición de infraestructura, sin embargo tiene la limitante de que no se pueden hacer estudios retrospectivos. Recurrimos entonces a los datos de TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) programa de la NASA, lanzado en noviembre de 1978, que día con día mide la columna de ozono sobre toda la Tierra mediante un sistema radiométrico montado en un satélite.

TOMS publica los datos sobre la columna total de ozono estratosférico, en dos versiones, una como imagen y otra como archivo de datos numéricos. Las imágenes (Figura 1), aunque dan una idea visual extraordinaria, no ofrecen una información cuantitativa en cuanto a tendencias o comportamiento a largo plazo. Hubo entonces que analizar la forma de los archivos de datos, para tratar de utilizarlos para evaluación del comportamiento a lo largo del año sobre Zacatecas.

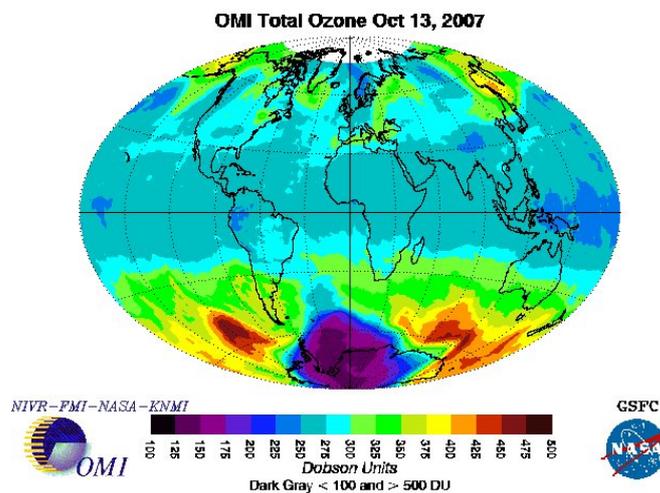


Figura 1. Imagen típica de la columna total de ozono estratosférico obtenida por el programa TOMS (Total Ozone Mapping Stratospheric), de la NASA [3].

COMPORTAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO ESTRATOSFÉRICO SOBRE ZACATECAS

Los datos de la columna de ozono correspondiente a cada día sobre Zacatecas pudieron localizarse fácilmente en el archivo del día. Pero no resultaba nada práctico leerlo en forma manual, dada la extensión de cada archivo. Los archivos diarios de TOMS contienen un dato o valor de la columna de ozono para cada área rectangular sobre la superficie de la Tierra, de 1.25 grados de longitud por 1 grados de latitud. Para cada grado de latitud hay 288 mediciones. Un archivo contiene en total 2160 líneas, y requiere 38 hojas tamaño carta para ser impreso.

Los archivos diarios de TOMS
contienen un dato o valor de la
columna de ozono para cada
área rectangular sobre la
superficie de la Tierra.

Para obtener en forma automática el valor de la columna de ozono para cada día sobre Zacatecas, fue necesario escribir un programa que leyera el dato de cada día y que lo registrara en forma acumulativa en otro archivo; de esta manera pudieron obtenerse las primeras secuencias en el comportamiento para todo un año y posteriormente para varios años.

La gráfica de los datos extraídos mostró que el nivel de la capa de ozono sobre Zacatecas oscila anualmente en forma estacionaria, observándose los valores más bajos en invierno. Con esto quedaba resuelta la pregunta sobre ¿por qué la radiación UV es mayor en invierno? La respuesta es: porque la capa de ozono que protege la superficie de la Tierra es de menor concentración en esta época del año.

El comportamiento de la columna total de ozono de tres años (2002-2005) fue presentado por Analeni Presbítero Perales en su tesis de licenciatura (Figura 2). Para estos tres años, se encontró, entre otras cosas, que los niveles más bajos se observaron en el invierno del 2004, año en que el invierno fue el más severo de los tres [4].

Surgían entonces un par de preguntas interrelacionadas ¿el comportamiento estacionario en el espesor de la capa de

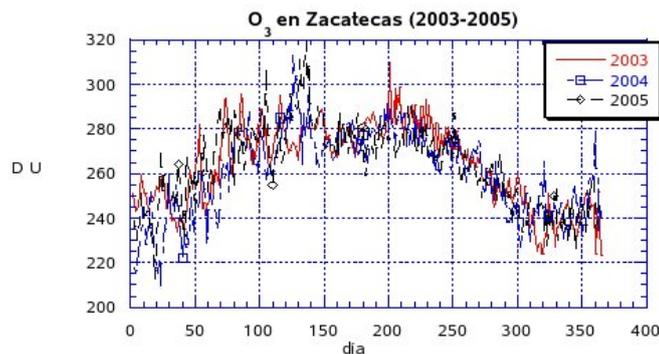


Figura 2. Comportamiento de la capa de ozono sobre Zacatecas entre 2003 y 2005, de acuerdo a TOMS [4].

ozono ha sido el mismo a lo largo del tiempo, o se ha modificado como lo ocurrido con el hueco de la capa de ozono sobre la Antártida? Y en caso de que haya disminuido ¿la radiación UV sobre Zacatecas ha aumentando en los últimos años?

En afán de responder, hubo que repetir el estudio en forma retrospectiva hasta el inicio de las mediciones de TOMS (noviembre de 1978).

El análisis de los datos relativos a la columna de ozono a Zacatecas puso en evidencia que las oscilaciones han sido prácticamente similares, aunque puede observarse una ligera pero paulatina disminución, a lo largo de los 29 años de mediciones satelitales. Hay que remarcar, que aunque existe esa disminución, es apenas significativa y dista mucho de ser del orden de la de la Antártida. Entre 1979 y 1995 en la Antártida, la pérdida en la capa de ozono fue del orden de 1.34%, en el Trópico de Cáncer fue tan solo de 0.17% .

Aunque a priori podría asumirse que esa ligera disminución no puede ser importante, puesto que no tiene relevancia estadística, es innegable que el eventual impacto en los niveles de radiación UV amerita ser estudiado con mayor precisión en posteriores estudios.

Puede suponerse que en Zacatecas, los niveles de radiación UV son elevados justamente por su ubicación geográfica, vecina al trópico de Cáncer y a una altura sobre el nivel del mar considerable (2450 m). Sin embargo, subyacía una segunda interrogante ¿Por qué entonces existe un aparente aumento en la incidencia de cáncer en la piel en Zacatecas? Si la radiación UV no ha aumentado entonces el aumento en la incidencia en el cáncer debe tener su explicación en

el aumento en la esperanza de vida de la población y en el cambio de hábitos: puesto que ya no se usa sombrero, ni manga larga y las exposiciones al sol son más frecuentes [7].

ANÁLISIS GLOBALES SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO

Una vez acumulado un gran número de archivos con datos de ozono de toda la Tierra, nos propusimos abordar una siguiente interrogante ¿el comportamiento local es similar al de toda la latitud? Para estudiar el problema, con la misma metodología analizamos el trópico de Cáncer. La respuesta fue, aunque existe una dispersión importante en los valores de la columna de ozono, se conservan las oscilaciones estacionales tanto en los valores promedio de toda la latitud como en los mínimos y máximos (Figura 3, Figura 4).

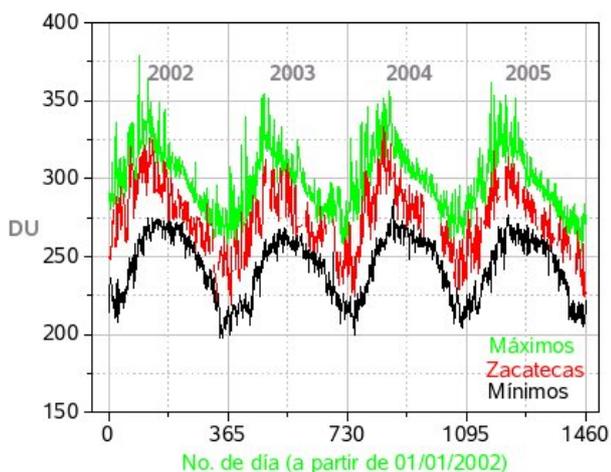


Figura 3. Columna Total de Ozono entre 2002 y 2005: valores máximos (verde) y mínimos (negro) sobre el Trópico de Cáncer, y valores sobre Zacatecas (rojo).

En seguida, sabiendo que el comportamiento del ozono estratosférico es característico de cada latitud, nos propusimos comparar el comportamiento del hemisferio norte con lo que ocurre en el hemisferio sur. Para ello sólo había que agregar algoritmos o subrutinas al programa que permitió el estudio local sobre Zacatecas, para estudiar otras latitudes.

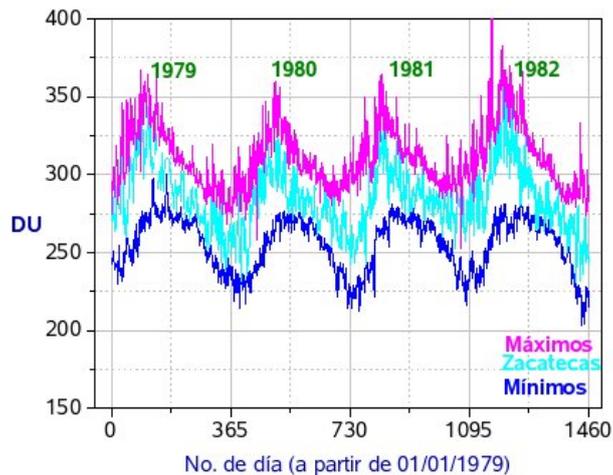


Figura 4. Columna Total de Ozono entre 1979 y 1982: valores máximos (magenta) y mínimos (azul) sobre el Trópico de Cáncer, y valores sobre Zacatecas (azul cielo).

Seleccionamos 12 latitudes: el Ecuador, los trópicos, 45 grados, 65 grados, 75 grados y los polos.

Esta selección permitió mostrar el potencial que representan los archivos de TOMS para estudiar el comportamiento en la capa de ozono a diferentes latitudes.

Así, en la Figura 5 se presenta el comportamiento del ozono estratosférico a 74.5 grados S en la Antártida; mientras que en la Figura 6 se presenta el comportamiento a 74.5 grados N en el Ártico. En ambas gráficas la línea punteada azul da cuenta de la disminución en la capa de ozono.¹

Se puede observar, que los niveles de la columna de ozono en el Ártico han sido mucho mayores que los de la Antártida. Mientras que en la Antártida el promedio anual en 1978 era del orden de 320 unidades Dobson (DU) en el Ártico eran del orden de 400 DU.

Se puede también observar que ha habido una reducción en la capa de ozono en ambos casquetes polares. Sin embargo es evidente un agotamiento muy severo en la Antártida, mientras que en el Ártico es tan sólo significativo. Entre 1978 y 1986 en la Antártida, los valores promedio anuales más bajos descendieron de 330 a 250 DU, es decir 80 DU;

¹ Nota: Las discontinuidades corresponden a las noches polares pues el método de medición se basa en la reflexión de la radiación solar desde el suelo.

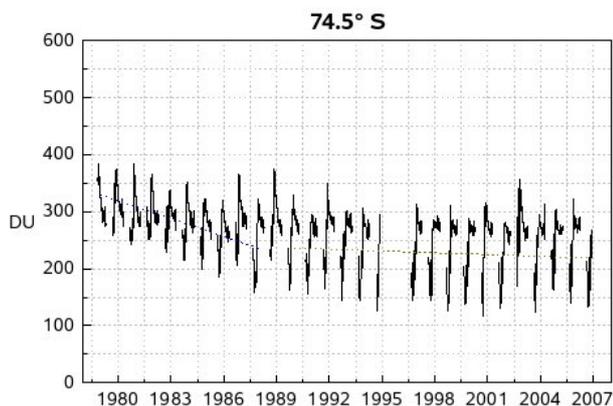


Figura 5. Espesor de la capa de ozono a 74.5 S entre 1978 y 2007.

mientras que en el Ártico en el mismo periodo la disminución fue del orden de 30 DU.

Ciertamente el promedio no habla de la severidad de la destrucción de la capa de ozono en la Antártida. Sin embargo, si se observan los valores mínimos se dará cuenta que de ser del 250 DU en 1978 disminuyeron a 150 en 1986. Posteriormente los valores continuaron bajando aunque con un ritmo menos severo.

Ciertamente el ritmo en la de disminución de la capa de ozono se ha reducido de manera importante a partir de 1995. Este es un hecho sin duda relevante, sin embargo de ninguna manera puede interpretarse que el agotamiento del ozono se haya revertido; simplemente el ritmo de disminución se ha atenuado; baste verificar que los valores mínimos en la Antártida varían alrededor de 150 y no se han vuelto a tener niveles de 250 como en 1978.

Estas conclusiones son similares a las reportadas por la World Meteorological Organization [5,6]. La diferencia entre este trabajo y los trabajos en los que se apoya la WMO radican en que ellos han llegado a sus conclusiones utilizando valores promedio zonales o bandas anchas de latitud. A diferencia, en este estudio hemos utilizado valores correspondientes a bandas discretas de ancho igual a 1° de latitud. Esta es una forma más fina de conducir el análisis que tiene la ventaja de permitir dar relevancia a las particularidades en el comportamiento de la capa de ozono a diferentes latitudes.

Al analizar las oscilaciones en la capa de ozono en difer-

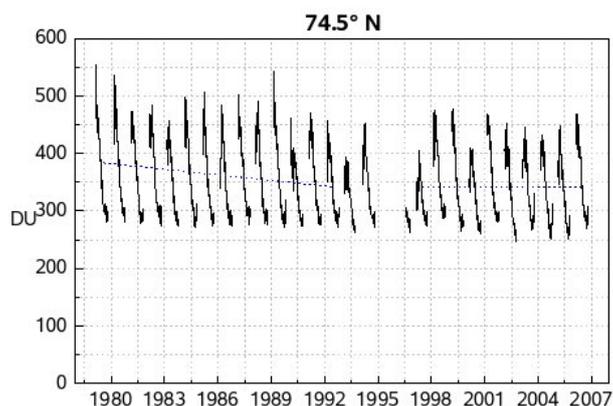


Figura 6. Espesor de la capa de ozono a 74.5 N entre 1978 y 2007.

entes latitudes, descubrimos una perturbación en el comportamiento estacionario en la latitud 59.5 grados S. Ésta aparece en 1986 y se acentúa y se vuelve sistemática en 1994 (Figura 7).

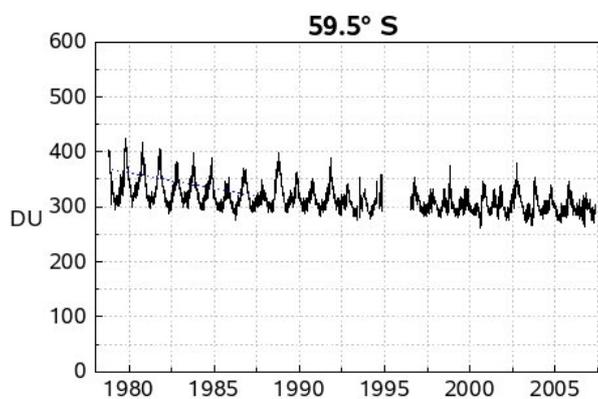


Figura 7. Comportamiento de la capa de ozono a 59.5 S entre 1978 y 2007.

Puede observarse en la Figura 7, cómo la periodicidad comienza a modificarse en 1986, lo que se manifiesta primero en un cambio de amplitud en las variaciones estacionarias que posteriormente se convierten en perturbaciones sucesivas en la periodicidad.

Interpretamos que este comportamiento es resultado de una especie de efecto de oleaje del hueco de la capa de ozono; el cual gira con una velocidad que es posible determinar. Este efecto no ha sido reportado como tal, seguramente porque los estudios sobre tendencias han recurrido a valores promedio zonales, que representan bandas de un ancho de 20 y 35 grados de latitud; lo que explica una pérdida de precisión.

El probable impacto de éste efecto de oleaje sobre el transporte de ozono está fuera del alcance de este trabajo; sin embargo parece evidente que se trata de un efecto irreversible en los mecanismos de transporte del ozono en la estratósfera.

CONCLUSIONES

Los datos de TOMS versión 8, de Noviembre 1978 a junio del 2007, fueron utilizados para analizar las variaciones interanuales en diversas bandas de un grado de latitud.

El comportamiento en la distribución confirma los niveles de agotamiento de la capa de ozono así como también pone en evidencia la atenuación en la disminución. El método de análisis permitió poner en evidencia el efecto de oleaje del hueco de la capa de ozono, a nivel de la latitud 59.5 grados S. Este efecto sugiere que independientemente de que el ritmo de destrucción de la capa de ozono haya disminuido, hay signos de irreversibilidad en el comportamiento de la capa de ozono estratosférico.

Bibliografía

- [1] J. L. Pinedo V., F. Mireles G., C. Ríos M., L. L. Quirino T., J. I. Dávila R., Spectral Signatura Of Ultraviolet Solar Irradiance In Zacatecas, Geofísica Internacional, Vol. 45, No 4, (2006), p. p. 263-269.
- [2] Earth Probe TOMS Data an Image Archive, http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/today_v8.html
- [3] ftp://toms.gsfc.nasa.gov/pub/omi/images/global/Y2007/IM_ozgbl_omi_20071013.png, (On line: 16,10,2007)
- [4] Presbítero Perales Analeni, Caracterización del espesor de la capa de ozono en Zacatecas del 2003 al 2005, Tesis Licenciatura en Químico Farmacéutico Biólogo, (abr/2006).

[5] WMO/UNEP (2003), Global Ozone Research and Monitoring Project, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002, Rep. 47.

[6] WMO/UNEP (2007), Assessment of Stratospheric Ozone Depletion: 2006.

[7] Castañeda López Rosalba, Radiación ultravioleta en la incidencia de cáncer de la piel en el estado de Zacatecas, México (1998-2007), Tesis de Maestría en Ciencias Nucleares, (sep/2008).

Acerca del autor o autores

José Luis Pinedo Vega, Carlos Ríos Martínez, Analeni Presbítero Perales, Leopoldo Quirino Torres†, Fernando Mireles García y José Ignacio Dávila Rangel son investigadores de la Unidad Académica de Estudios Nucleares de la Universidad Autónoma de Zacatecas, Ciprés S/N, Frac. La Peñuela, Zacatecas, Zac., c. p. 98000 México, Tel. (492) 9 22 70 43, ext 107, correo-e:jlpinedo@uaz.edu.mx.