

ESTUDIO DE LA VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA COLUMNA VERTICAL DE NO₂ Y O₃ ATMOSFÉRICO EN RÍO GALLEGOS, MEDIANTE UN ESPECTRÓMETRO DE LA RED SAOZ

STUDY OF THE ATMOSPHERIC NO₂ AND O₃ VERTICAL COLUMN SEASONAL VARIABILITY AT RÍO GALLEGOS, BY MEANS OF A SAOZ SPECTROMETER.

M.M. RAPONI ^{1*}, E. WOLFRAM ¹, J. SALVADOR ¹, F. GOUTAIL ², J. TOCHO ³, E. QUEL ¹

1. CEILAP (CITEFA-CONICET), Juan B. de La Salle 4397 (B1603ALO) - Villa Martelli, Argentina.

2. Service d'Aéronomie, Centre National de Recherche Scientifique, France.

3. Centro de Investigaciones Ópticas, CIOP (CONICET-CIC), La Plata, Buenos Aires, Argentina

*e-mail: mraponi@citefa.gov.ar

El ozono (O₃) estratosférico es uno de los gases más importantes de nuestra atmósfera, debido a su capacidad de absorber radiación solar biológicamente dañina (llamada UV-B), que de otra manera arribaría a la superficie terrestre produciendo efectos nocivos sobre los diferentes organismos. El dióxido de nitrógeno (NO₂), por su lado, es un gas traza que juega un rol clave en la fotoquímica del ozono. El monitoreo sistemático del contenido de NO₂ y otros gases minoritarios, es vital para comprender los procesos de destrucción y formación del ozono estratosférico. En este trabajo se presenta un estudio realizado sobre la variación estacional de la concentración en columna vertical del O₃ y el NO₂ atmosférico, empleando un espectrómetro SAOZ (Système d'Analyse par Observation Zenithale) perteneciente al Service d'Aéronomie (Centre National de Recherche Scientifique, France), localizado en Río Gallegos, provincia de Santa Cruz (51° 36' S, 69° 19' O), en la estación de sensado remoto CEILAP-RG. Se analiza la correlación existente entre la concentración de ambos gases y se estudia el comportamiento de los mismos en situación de agujero de ozono. Así mismo, se comparan las mediciones mencionadas con las provenientes del instrumento OMI (Ozone Monitoring Instrument) montado en el satélite meteorológico AURA.

Palabras claves: SAOZ, NO₂, ozono, OMI

The stratospheric ozone (O₃) is one of the most important gases in our atmosphere due to its capacity to absorb biologically harmful solar radiation (called UV-B) that would otherwise arrive to the terrestrial surface producing dangerous effects on different organisms. On the other hand, the nitrogen dioxide (NO₂) is a key trace gas in the ozone photochemical. The systematic sensing of the concentration of NO₂ and other minority gases is essential in order to understand the stratospheric ozone destruction and formation processes. In this work we present the study carried out on the seasonal variation of the atmospheric O₃ and NO₂ vertical column concentration, using a SAOZ spectrometer (System d'Analyse par Observation Zenithale) belonging to the Service d'Aéronomie (Centre National de Recherche Scientifique, France), located in Río Gallegos, Santa Cruz province (51° 36' S, 69° 19' W), in the CEILAP-RG remote sensing station. We analyze the correlation between the O₃ and NO₂ concentration and study the behavior of these gases in ozone hole situation. Likewise, we compare the ground-based measurement with those coming from the OMI/AURA (Ozone Monitoring Instrument, AURA satellite)

Key Word: SAOZ, NO₂, ozone, OMI

I. INTRODUCCIÓN

La distribución vertical del ozono (O₃) atmosférico, presenta su máximo alrededor de los 25 km de altura, donde la relación producción/destrucción es máxima. El contenido de O₃ en la tropósfera no representa más de un 10% de la columna vertical total (valor integrado en altura). Por este motivo, para efectuar análisis de los fenómenos asociados al O₃ estratosférico, se emplea generalmente la concentración total.

Durante el invierno, las condiciones meteorológicas de la estratósfera antártica, establecen el escenario propicio para la formación del agujero de ozono. Debido a la escasez de vapor de agua a esta altitud, la formación de nubes (conocidas con el nombre de Nubes Estratosféricas Polares, NEPs), sólo es posible a temperaturas muy bajas. Cuando la temperatura desciende por debajo de los -78°C se forman nubes compuestas de una mezcla de agua y

ácido nítrico (NEPs tipo I) en cuyas partículas se desencadenan reacciones químicas heterogéneas que transforman componentes halogenados pasivos (por ej. HCl y HBr) en especies de clorinas y brominas (por ej. ClO y BrO). Estas últimas causan una importante disminución del contenido de O₃ en presencia de luz solar a través de ciclos catalíticos, en los cuales una molécula de ClO puede destruir miles de moléculas de O₃ antes de ser desactivada mediante reacciones con óxidos de nitrógeno. Cuando la temperatura desciende hasta los -85°C, se forman nubes de hielo puro (NEPs tipo II). Sus partículas pueden crecer hasta adquirir suficiente peso como para descender y arrastrar consigo moléculas de ácido nítrico (reservorio de NO₂ que es liberado bajo condiciones de luz solar). Si el dióxido de nitrógeno es removido de la estratósfera (desnitrificación), las clorinas y brominas activas pueden destruir muchas más moléculas de O₃ antes de ser desactivadas.

El vórtice polar es una corriente de aire muy frío que circula alrededor del Polo Sur, impidiendo la entrada de aire caliente ricas en ozono provenientes de regiones tropicales. Dentro del vórtice polar las temperaturas permanecen suficientemente bajas para mantener los procesos químicos que consumen el O_3 . Con el incremento de las temperaturas en la primavera, el vórtice polar se desintegra y la capa de ozono se recupera.

A partir de mediciones satelitales se pudo observar que durante la primavera polar, la acción de las ondas planetarias desplazan el agujero de ozono hacia regiones pobladas del hemisferio Sur, incrementando en dichos lugares, la intensidad de los rayos solares UV.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La división Lidar perteneciente al Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones, CEILAP (CITEFA-CONICET), posee en Río Gallegos, provincia de Santa Cruz (51,6° S; 69,3° O; 15 m snm), una estación de sensado remoto atmosférico (denominada CEILAP-RG), donde se realizan estudios relacionados con el agujero de ozono, la contaminación troposférica y los efectos de la radiación UV sobre los organismos vivos⁽¹⁾. En dicha estación, se determinan de manera sistemática diversos parámetros atmosféricos, como por ejemplo: la concentración en columna vertical total de ozono (O_3) y de dióxido de nitrógeno (NO_2)^(2,3), la concentración de O_3 discriminada en altura (perfiles obtenidos entre los 15 y 45 km aproximadamente), la irradiancia solar en el rango UV-B y UV-A, etc (ver sitio web www.division-lidar.com.ar).

La ciudad de Río Gallegos se ve afectada cada primavera por una disminución significativa del contenido de O_3 estratosférico que produce un incremento de las radiaciones solares UV respecto a las esperadas para esta época del año. En este trabajo se analiza la variación estacional del contenido de NO_2 y O_3 atmosférico, empleando un espectrómetro SAOZ (Systeme d'Analyse par Observation Zenithale) perteneciente al Service d'Aéronomie (Centre National de Recherche Scientifique, France), el cual determina la concentración en columna vertical de dichos gases, aplicando la técnica DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy).

El instrumento SAOZ consiste en un espectrómetro comercial Jobin-Yvon de campo plano - equipado con una red de difracción cóncava holográfica y un detector Hamamatsu (arreglo lineal de 1024 diodos) - que permite sensar irradiancia espectral solar en el rango UV-Visible (300-600 nm). Posee una ranura de entrada de 50 μm de ancho y 2,5 mm de alto y una resolución espectral del orden de 1 nm FWHM (Full Width Half Maximum).

El instrumento captura luz solar dispersa durante el ocaso y el amanecer (ángulos cenitales entre 87° y 92°). Posteriormente dicha información espectral es analizada por un algoritmo de inversión que implementa la técnica DOAS, para determinar la concentración en columna total de O_3 , NO_2 , vapor de agua y O_2-O_2 (dímero de oxígeno); detectar aerosoles volcánicos y nubes estratosféricas polares.

El instrumento fue desarrollado en la década del 80' por el Service d'Aéronomie (Francia), con el fin de monitorear el contenido de O_3 estratosférico en regiones

polares y subpolares. Parte de dichos instrumentos son empleados para monitorear la destrucción año a año del ozono antártico, analizar tendencias y validar mediciones satelitales de columna total de O_3 y NO_2 (GOME-2, SCIAMACHY, TOMS y OMI).

De todas las estaciones pertenecientes a la red SAOZ sólo unas pocas se encuentran ubicadas en el hemisferio Sur. En la figura 1 se puede apreciar el instrumento SAOZ instalado en la estación de sensado remoto CEILAP-RG.



Figura 1: Instrumento SAOZ localizado en la estación de sensado remoto atmosférica CEILAP-RG.

El instrumento SAOZ localizado en la estación CEILAP-RG, se encuentra aislado de las inclemencias del tiempo por medio de un recipiente estanco, el cual posee una ventana de cuarzo por donde ingresa la luz proveniente del cenit en un ángulo de visión de 20° aproximadamente.

III. RESULTADOS

Internacionalmente se establece que una región se encuentra en situación de agujero de ozono, cuando la concentración en columna vertical total de dicho gas, es inferior a 220 UD (unidades Dobson). En este trabajo consideraremos concentraciones de O_3 muy disminuidas, cuando las mismas sean inferiores a 250 UD, ya que el contenido promedio sobre Río Gallegos para los meses de septiembre y octubre (en condiciones normales) es de orden de 340 UD⁽⁴⁾.

En el periodo comprendido entre el 1 de agosto al 30 de noviembre de 2008 se registraron tres días con valores menores a 250 UD durante el amanecer (5, 21 y 28 de octubre), y dos días al atardecer (6 y 27 de octubre), pero ninguno de ellos estuvo por debajo de 220 UD, o sea, en verdadera condición de agujero de ozono.

En la figura 2 se puede observar el contenido total de NO_2 y O_3 obtenido por el instrumento SAOZ en Río Gallegos, durante los años 2008 y 2009.

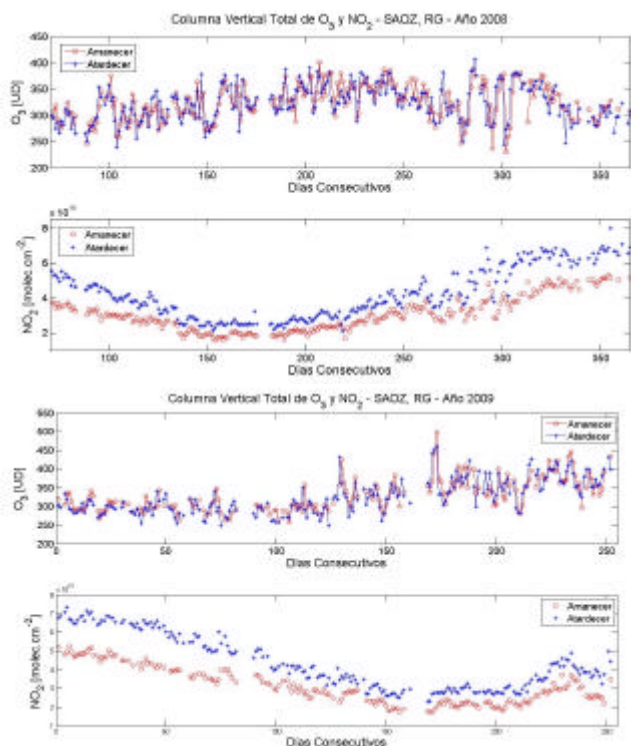


Figura 2: Columna vertical total de O_3 y NO_2 para Río Gallegos, determinadas por el instrumento SAOZ, durante los años 2008 (superior) y 2009 (inferior).

En la figura 3 se presenta la correlación existente entre la variación estacional del O_3 y el NO_2 , durante los años 2008 y 2009. Para los días mencionados (condición cuasi agujero de ozono) la concentración en columna vertical total de NO_2 presenta una dispersión superior respecto a días previos y posteriores. Suponemos que esta perturbación se encuentra asociada a una disminución importante del contenido de O_3 estratosférico ocasionada por el pasaje del vórtice polar sobre la estación de sensor remoto.

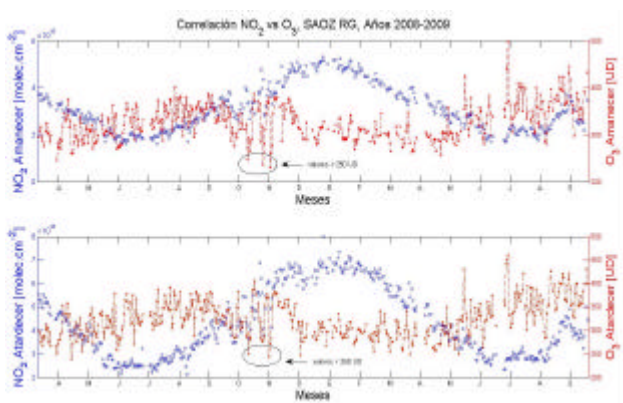


Figura 3: Variación estacional de la columna vertical total de O_3 y NO_2 sobre Río Gallegos, durante los años 2008 y 2009, determinadas por el instrumento SAOZ localizado en la estación CEILAP-RG.

El fenómeno observado en el análisis anterior, es confirmado por las imágenes satelitales obtenidas con el instrumento OMI/AURA. A continuación se presentan las imágenes solamente para los días 27 y 28 de octubre de 2008.

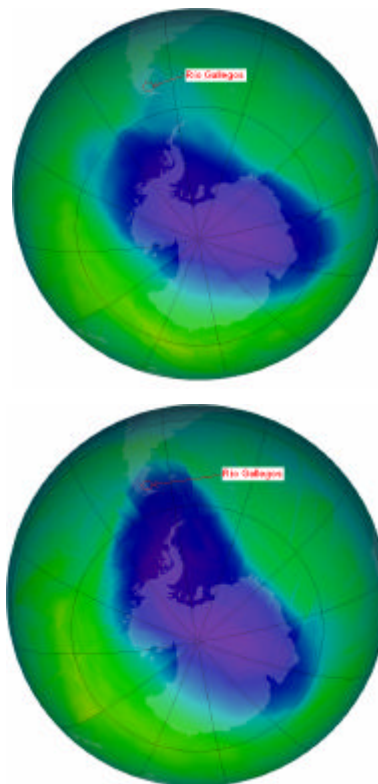


Figura 4: Concentración total de ozono obtenidas por el instrumento OMI/AURA, para los días 27 (superior) y 28 de octubre de 2008 (inferior).

De las imágenes satelitales provistas por el instrumento OMI, se observa una importante disminución del contenido de O_3 (colores oscuros) en la masa de aire que circula sobre Río Gallegos, comparando el día 27 de octubre con el día posterior. El día 28 de octubre presentó el contenido de O_3 más pequeño del año 2008.

En la tabla 1 se indican los valores extremos (mínimos y máximos) de la columna vertical total de O_3 y NO_2 obtenidos por el espectrómetro SAOZ, durante los crepúsculos (amanecer y atardecer), para los años 2008 y 2009.

TABLA N°1: VALORES EXTREMOS DE LA CONCENTRACIÓN EN COLUMNA VERTICAL DE NO_2 Y O_3 , AÑOS 2008-2009.

O_3 [UD] Amanecer	O_3 [UD] Atardecer	NO_2 [molec/cm ²] Amanecer	NO_2 [molec/cm ²] Atardecer
Min: 230.3	Min: 239.1	Min: 1.61×10^{15}	Min: 2.12×10^{15}
Max: 498.6	Max: 460.5	Max: 5.33×10^{15}	Max: 7.99×10^{15}

En la figura 5 se presenta la variación estacional de la columna vertical total de NO_2 obtenida por el instrumento OMI/AURA, desde el año 2004 a la actualidad. Se observan valores máximos y mínimos durante los meses de enero-febrero y junio-julio, respectivamente.

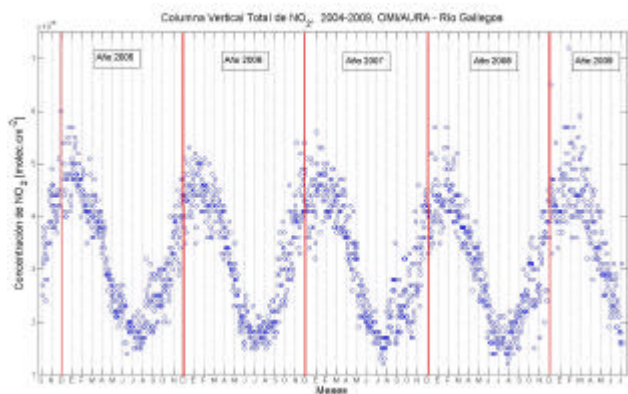


Figura 5: Variación estacional de la columna vertical total del NO₂ observada por el instrumento OMI/AURA, desde el año 2004 a la actualidad.

Las diferencias encontradas entre los valores extremos sensados por el espectrómetro SAOZ (ver tabla 1) y los provistos por el OMI (ver figura 5), se deben al hecho que el satélite sobrevuela la estación CEILAP-RG en el intervalo horario 18:30 - 20:30 UTC, es decir, defasado varias horas de los momentos del día en los cuales sensa el espectrómetro (crepúsculos). Es importante destacar que la concentración del NO₂ varía significativamente del amanecer al anochecer y de invierno a verano debido a la fotoquímica de dicho gas⁽⁵⁾.

En la figura 6 se puede apreciar la muy buena correspondencia entre los valores de O₃ obtenidos por el instrumento SAOZ y los provistos por el OMI/AURA.

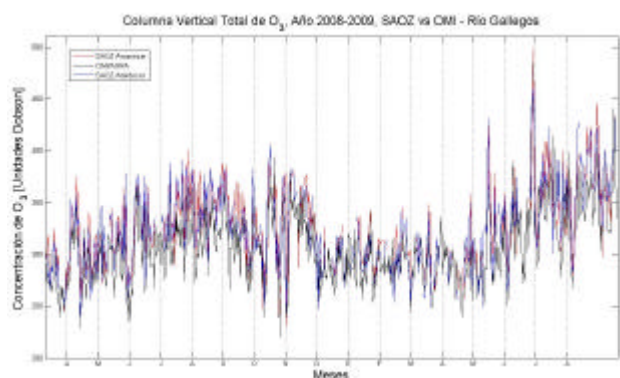


Figura 6: Variación estacional de la columna vertical total del O₃ observada por el espectrómetro SAOZ y el instrumento OMI/AURA, desde el año 2004 a la actualidad, en la estación de sensado CEILAP-RG.

IV. CONCLUSIONES

A partir de los datos de NO₂ y O₃ obtenidos por el instrumento SAOZ, se pudo observar la anticorrelación existente entre ambos gases, y estudiar como la circulación de masas de aire con bajo contenido de O₃, afecta la concentración de NO₂ sobre Río Gallegos. Se determinaron los valores extremos (concentraciones mínimas y máximas) de cada gas, durante los dos momentos del día en los que el instrumento SAOZ mide (amanecer y atardecer). No se observa una diferencia significativa en el contenido de O₃ para ambos momentos, como era de esperar. En el caso del NO₂, por ser una especie de tiempo de vida fotoquímico corto, presenta una significativa variabilidad diaria claramente observable en

las curvas de contenido vertical total para ambos crepúsculos.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a JICA (Japan International Cooperation Agency) por el financiamiento de la campaña SOLAR y a los responsables de la red SAOZ, por la instalación de uno de sus equipos en nuestra estación de sensado remoto.

Referencias

1. Piacentini R.D, Salum G.M, Micheletti M.I, Wolfram E, Raponi M, Quel E. Transactions on Biology and Biomedicine, Issue 2, **2**, 243-248 (2005).
2. Raponi M., E. Wolfram, E. Quel, J. Pedroni, A. Rosales y J.O. Tocho. AIP Conference Proceedings, Issue 1, **992**, 9-14 (2008).
3. Raponi M., R. Jiménez, J.O. Tocho y E.J. Quel. *Current problems in atmospheric radiation* (IRS 2008), Proceedings of the International Radiation Symposium (IRC/IAMAS). AIP Conference Proceedings, **1100**, 319-322 (2009).
4. Wolfram E., Salvador J., Pallotta J., D'Elia R., Pazmiño A., Godin-Beeckmann S., Quel E. ANALES AFA, **18**, 321-326 (2006).
5. Gil, M., Yela, M., Gunn, L. N., Richter, A., Alonso, I., Chipperfield, M. P., Cuevas, E., Iglesias, J., Navarro, M., Puentedura, O. y Rodríguez, S. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, **7**, 15067-15103 (2007).