

# INSTALACIÓN DE MEDIDORES DE OZONO EN ARGENTINA Y CHILE

J. O. Tocho, <sup>(1)</sup>

*Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP, y Centro de Investigaciones Ópticas (CONICET-Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires), CC 67 (1900) La Plata.*

M. G. Nicora, <sup>(2)</sup>

*Centro de Investigaciones Ópticas (CONICET-Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires), CC 67 (1900) La Plata.*

L. Da Silva,

*Departamento de Física, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.*

T. Badorrey, F. Cussó, F. Jaque y G. Lifante

*Departamento de Física de Materiales C-IV, Universidad Autónoma de Madrid, España.*

Se han instalado en el cono sur de nuestro continente 16 medidores simples de ozono construidos mediante una colaboración entre Argentina y España. Durante la primavera de 1993 se realizó una campaña de mediciones simultáneas con objeto de cuantificar la posible influencia del episodio anual antártico en terreno continental. En Argentina, los equipos fueron instalados en Río Grande, Bariloche, Carmen de Patagones, Mar del Plata, Tandil, Mercedes (Provincia de Buenos Aires), La Plata, San Luis, Rosario y Salta. Seis equipos similares fueron enviados a Chile para realizar medidas en distintos paralelos que cubrirán desde la Antártida hasta Arica. El funcionamiento de los sensores está basado en la dependencia de la distribución espectral de la radiación ultravioleta solar con el contenido de ozono atmosférico. Es sabido que, para longitudes de onda cercanas a 300 nm, esa distribución espectral está prácticamente gobernada por el ozono y que otros agentes que filtran la radiación sólo modifican levemente la distribución. Las mediciones realizadas en Río Grande, las únicas analizadas hasta el momento, muestran claramente la llegada del agujero de ozono a esa ciudad el 27 de setiembre de 1993.

Sixteen very simple ozone detectors, built in by a collaboration between Argentina and España, were installed in south America. During spring of 1993 the network was operated to observe the influence of the Antarctic ozone hole over our continent. The instruments has been installed through Argentina and Chile, covering latitudes extending from 64° S to 18° S. Each device measured the direct-solar irradiance at 300 nm and 313 nm with 10 nm FWHM by photodiodes with integrated interference filters. Quartz telescopic assemblies and an equatorial mounting allowed sun tracking. The irradiance ratio between this two close wavelengths are proportional to total ozone content. Measurements performed at Río Grande (53° 48 S 67° 45 W) showed a pronounced drop in the ozone values on setember 27th, 1993.

## I. INTRODUCCIÓN

El ozono ( $O_3$ ) se produce en la alta atmósfera y fundamentalmente en la región trópico-ecuatorial, por efecto de radiación ultravioleta solar sobre el oxígeno ( $O_2$ ). Una vez formado se distribuye por toda la estratósfera pero manteniendo pequeñas variaciones con la época del año y con la latitud geográfica. A pesar de la pequeña proporción con la que se encuentra en la atmósfera, el ozono es un componente esencial para la vida porque participa activamente en dos procesos claves: por un lado su formación en las capas altas de la atmósfera inyecta

calor, ayudando así a mantener la temperatura del planeta en los valores actuales y bajo los cuales se ha desarrollado la vida según la conocemos; por otro lado, protege a la Tierra del daño asociado con parte de la radiación ultravioleta proveniente del Sol y que sin su presencia llegaría a la superficie.

## II. LA UNIDAD DOBSON

La capacidad de atenuar o filtrar radiación ultravioleta que tiene el ozono es notable, mas si se tiene en cuenta la pequeña cantidad en la que se

<sup>(1)</sup> Investigador CONICET.

<sup>(2)</sup> Becaria de Entrenamiento CICBA.

encuentra en la atmósfera donde de cada 1.000.000.000 de moléculas sólo 300 son de ozono. Para visualizar de manera clara lo pequeño de estas cantidades podemos pensar de la siguiente manera: imaginemos una columna que se extienda desde la superficie de la tierra hasta el extremo más alto de nuestra atmósfera y eliminemos de ella todos los gases que no sean ozono; a la presión normal y a 0 C de temperatura el ozono ocuparía sólo 3 o 4 mm de altura en esa columna. 3 mm de altura de columna equivalen a 300 unidades Dobson (UD).

La presencia del ozono en la atmósfera asegura que prácticamente toda la radiación ultravioleta con longitud de onda menor de 290 nm y gran parte de la comprendida entre 290 y 310 nm resulten absorbidas en la alta atmósfera y no lleguen a la superficie. El ozono forma así un escudo protector en la estratósfera bloqueando el paso de la porción dañina de la radiación solar<sup>1</sup>. La cantidad de ozono atmosférico resulta entonces vital. Una disminución se traduce en una mayor exposición a la parte peligrosa de las longitudes de onda cortas; un aumento sobre los valores normales eliminaría los efectos beneficiosos asociados con las longitudes de onda largas y que nos ayudan a prevenir, por ejemplo, el raquitismo y las enfermedades virósicas.

### III. MIDIENDO OZONO ATMOSFÉRICO

El ozono atmosférico puede ser medido directamente con instrumentos instalados en aviones, cohetes o globos. Estos experimentos permiten obtener mapas tridimensionales detallados pero son costosos y por lo tanto difíciles de realizar de manera permanente. Dada la gran capacidad de absorber radiación ultravioleta que posee el ozono, es posible medir indirectamente la cantidad total de este elemento desde la superficie o desde el espacio exterior mediante satélites. En general los equipos basan su funcionamiento en la correlación entre la intensidad de la radiación ultravioleta en dos o mas longitudes de onda y la cantidad de ozono que ha interactuado con esa radiación. Si la medida se hace desde la superficie la interacción se refiere al filtrado o atenuación que produce el ozono, especialmente en 300 nm. Los sensores de satélites operan de una manera similar pero midiendo la cantidad de radiación ultravioleta solar que es dispersada por la atmósfera volviendo nuevamente hacia el espacio. Si bien los satélites constituyen la solución mas convenientes para realizar un control permanente y global de la cantidad de ozono en la atmósfera, diversos hechos hacen que su buen funcionamiento descansa muchas veces en mediciones periódicas realizadas desde la superficie. En nuestro país se realizan distintos programas de investigación conducentes a la determinación precisa del ozono

en la atmósfera. En particular, se encuentra operando en Ushuaia un espectroradiómetro de alta resolución que forma parte de la red mundial de control de radiación ultravioleta<sup>2</sup>. Con dos espectrómetros Dobson, el Servicio Meteorológico Nacional realiza mediciones de ozono total en Buenos Aires y en la Base Antártica Comodoro Marambio. La necesidad de realizar mediciones globales cubriendo la mayor parte de nuestro país motivó nuestro proyecto. Este programa piloto, basado en equipos portátiles de poco consumo y muy económicos, se desarrolla actualmente en colaboración con investigadores españoles de la Universidad Autónoma de Madrid. Los equipos fueron diseñados y contruidos de manera conjunta. La construcción mecánica fue responsabilidad del grupo español, mientras que las componentes ópticas y electrónicas fueron desarrolladas en el CIOP y en la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de La Plata. Diez equipos idénticos fueron instalados en las ciudades de Río Grande, Bariloche, Carmen de Patagones, Mar del Plata, Tandil, Mercedes (Pcia. de Buenos Aires), La Plata, San Luis, Rosario y Salta. Otros seis instrumentos similares serán instalados y operados por científicos chilenos en Antártida, Punta Arenas, Puerto Montt, Valparaíso, Antofagasta y Arica.

### IV. FUNDAMENTO

El funcionamiento de los medidores está basado en la dependencia de la distribución espectral de la radiación ultravioleta solar, que llega a la superficie de la tierra, con el contenido de ozono atmosférico. Es sabido que alrededor de 300 nm esa distribución espectral está prácticamente gobernada por el ozono y que otros agentes que filtran la radiación, sólo modifican levemente la distribución. La Fig. 1 muestra cómo el espectro fuera de la atmósfera<sup>3</sup> se modifica por acción de distintos parámetros de la atmósfera terrestre. Parte de la radiación que entra a la atmósfera es absorbida y parte es dispersada. Este último proceso es debido a las moléculas y a las partículas en suspensión del aire. La absorción es un proceso molecular muy selectivo y ocurre para longitudes de onda discretas. La Fig. 2 describe la profunda influencia del ozono en el espectro que llega a la superficie. Mientras que la densidad espectral en 300 nm cambia sensiblemente con el contenido de ozono, no ocurre lo mismo en longitudes de onda mayores. Los demás agentes no tienen una dependencia tan marcada con la longitud de onda; regulan la intensidad por igual en todo el rango espectral. Entonces, si la señal de un fotodetector sensible solamente a radiación de 313 nm (L1) se divide por la señal de otro fotodetector sensible a 300 nm (L2), el

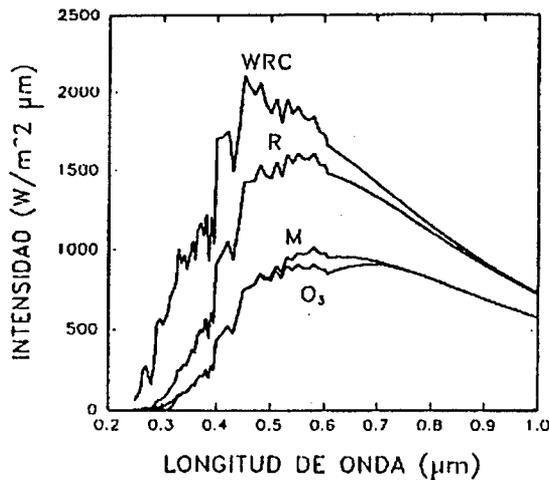


Fig. 1: Variación de la densidad espectral para luz solar directa. WRC es el espectro extraterrestre. R representa la atenuación por scattering Rayleigh para 1 atmósfera, M corresponde a la atenuación por aerosoles simulando una visibilidad horizontal de 10 km. O<sub>3</sub> indica el valor en la superficie terrestre para 220 UD de ozono.

cociente ( $R = L_1 / L_2$ ) tiene una variación importante con el contenido de ozono (Fig. 3).

## V. DESCRIPCIÓN DE LOS MEDIDORES

Cada medidor cuenta con dos sensores independientes y una electrónica única conmutable. Dos colimadores reducen a un mínimo la entrada de luz difusa al equipo. Poseen lentes de cuarzo de 50 mm de distancia focal y 12 mm de diámetro que enfocan la radiación solar sobre fotodiodos de Silicio con filtros interferenciales de 10 nm de ancho de banda<sup>4</sup>. El amplificador es de 2 etapas. La primera, de transimpedancia, convierte la corriente de los fotodiodos en tensión. La resistencia de esta etapa es 100, 200 o 400 KΩ, según el paralelo en que debe operar el equipo. La segunda etapa es un amplificador de tensión con 4 ganancias seleccionables desde el medidor. La indicación fial se lee con un tester digital modificado.

## VI. ANÁLISIS DE LOS DATOS

El cociente entre la señales de 313 y 300 nm puede utilizarse como entrada en un gráfico de calibración contra el contenido total de ozono, determinado por otros métodos durante un número apreciable de días. Los medidores pueden calibrarse

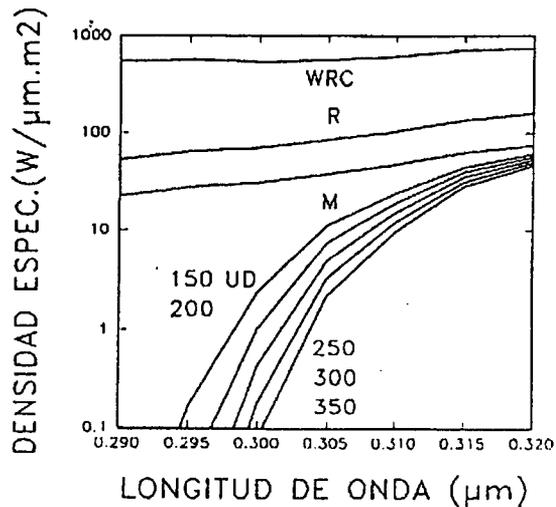


Fig. 2: Densidad espectral de la irradiancia en la superficie terrestre para 5 contenidos totales de ozono diferentes. Los otros parámetros son similares a los de la Fig.1.

también utilizando el procedimiento de los Diagramas de Langley<sup>5</sup>, en los cuales los valores del logaritmo de R, obtenidos a lo largo del día, se ajustan mediante una recta en función de la masa de aire<sup>6</sup>. La pendiente de esta recta es proporcional al contenido total de ozono. En todos los casos es necesario conocer los valores del ozono total obtenidos por métodos independientes. A tal fin se tiene previsto

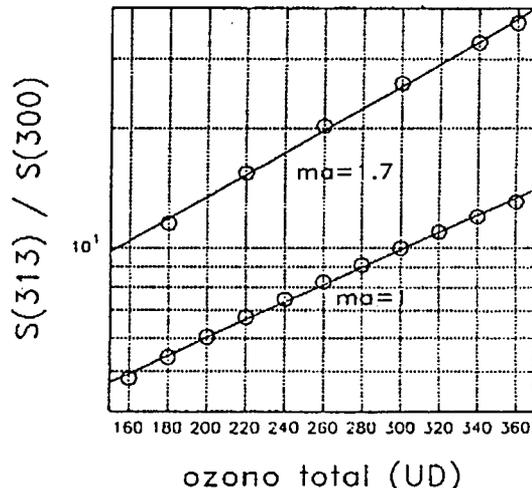


Fig. 3: Relación calculada entre el cociente de señales para el detector centrado en 313 nm y en 300 nm y el contenido total de ozono. Se ha considerado una transmisión máxima del 25 % para cada filtro interferencial con un ancho a mitad de altura de 10 nm. Los demás parámetros son iguales a los de la Fig. 1. Se representan las masas de aire que influyen de la hora de la medición en la sensibilidad del método.

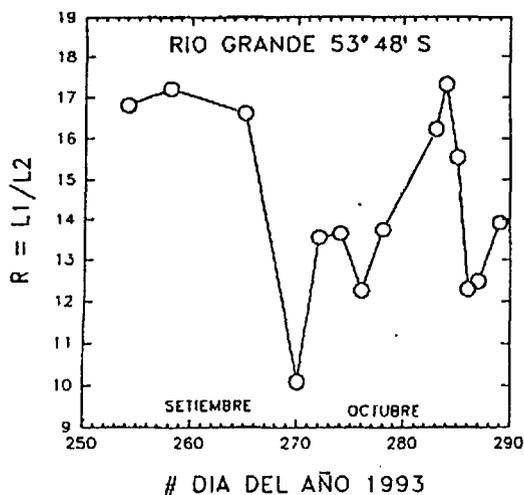


Fig. 4: Mediciones en la Estación Astronómica de Río Grande (Tierra del Fuego) durante setiembre y octubre de 1993.

contar con los datos del medidor TOMS (Total Ozone Map System), instalado en el satélite METEOR 3 y accesibles a través del sistema público de NASA vía INTERNET, y realizar una comparación directa con el espectrofotómetro Brewer, operado por la Universidad de Magallanes, en Punta Arenas, así como con el medidor Dobson de Buenos Aires. A modo de ejemplo se presentan los resultados obtenidos en la ciudad de Río Grande entre los días 11 de setiembre y 13 de octubre (Fig. 4). Se muestran también las lecturas correspondientes a 300 y 313 nm para el 11 y el 27 de setiembre a lo largo del día, junto al cociente de estas. Este cociente es proporcional al contenido total de ozono.

## VII. CONCLUSIONES

Se han diseñado y construido equipos simples y económicos para medir ozono atmosférico. Se ha instalado una red que permitirá evaluar su funcionamiento en las más diversas condiciones de operación. Los procesos de calibración se han completado en el momento de la revisión de este trabajo y los resultados obtenidos concuerdan dentro de un 7 % con los brindados por otras fuentes<sup>7-8</sup>. El medidor instalado en Río Grande, operado en la Estación Astronómica de esa ciudad, detectó con total claridad la llegada de aire pobre en ozono al continente americano en la primavera de 1993.

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto contó con el apoyo del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

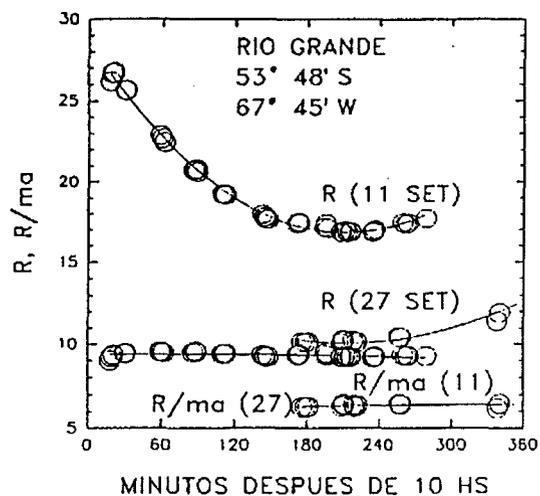


Fig. 5: Mediciones a lo largo del día en Río Grande el 11 de setiembre y el 27 de setiembre de 1993.

(CONICET) y de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC). Agradecemos especialmente a todas las personas que realizan las mediciones en diversas zona del país.

## REFERENCIAS

1. *An Introduction to Solar Radiation*. M. Iqbal. Academic Press. Toronto (1983).
2. *The United States National Science Foundation's Monitoring Network for Polar Regions*. C.R. Booth. Taller de la Organización Mundial Meteorológica sobre UV-B para las Américas. Buenos Aires, 22-26 de agosto de 1994.
3. C. Frölich and C. Wehrli. *Spectral Distribution of Solar Irradiance from 25000 nm to 250 nm*. World Radiation Center, Davos, Switzerland (1991).
4. *Silicon p-i-n Photodiodes. Built-in Interference Filter*. EG&G Optoelectronics Canada, Quebec, Canada.
5. *Pinatubo and pre-Pinatubo optical-depth spectra*. P.B. Russell, J.M. Livingston, E.G. Dutton, R.F. Pueschel, J.A. Reagan, T.E. DeFoor, M.A. Box, D. Allen, P. Pilewskie, B.M. Herman, S.A. Kinne, and D.J. Hofmann. *Journal of Geophysical Research*, **98**, 22969-22985 (1994).
6. La masa de aire, que normalmente se define como la secante del ángulo cenital, es levemente diferente para el ozono que se encuentra en mayor concentración entre los 15 y los 25 km de altura. Se utilizó par su cálculo la expresión de Robinson que puede encontrarse en (1).
7. Datos obtenidos con un espectrofotómetro Brewer en la ciudad de Punta Arenas fueron suministrados por V. Valderrama de la Universidad de Magallanes.
8. Datos de TOMS fueron accesibles gracias a la colaboración de Jay Herman de Goddard Space Flight Center, MD, USA.