

PERFILES DE OZONO ESTRATOSFERICO MEDIDOS CON DIAL EN EL PERIODO 2000 - 2001 Y OZONOSONDA SOBRE BUENOS AIRES.

E. Wolfram^{1,4}, A. Pazmiño^{1,5}, M. Lavorato¹, E. Quel¹, M. Micheletti^{2,4}, R. D. Piacentini^{2,3}

1 CEILAP (CITEFA-CONICET) ZUFRIATEGUI 4380, 1603 VILLA MARTELLI, ARGENTINA,

2 IFIR (UNIV. NAC. DE ROSARIO - CONICET), ROSARIO, ARGENTINA

3. FACULTAD DE CS. EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA, UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO, ROSARIO, ARGENTINA.

4 BECARIO DE CONICET.

5 UNIVERSIDAD NACIONAL DE GENERAL SAN MARTÍN, SAN MARTÍN, ARGENTINA

ewolfram@citefa.gov.ar

Se presentan resultados de las mediciones del perfil altitudinal del ozono atmosférico sobre Buenos Aires, mediante dos técnicas: DIAL (Differential Absorption Lidar) y ozonsonda. La primera se aplica desde fines de 1999 en el CEILAP, presentándose en este trabajo mediciones realizadas entre marzo 2000 y mayo 2001. La segunda técnica se basa en el envío de un globo con una celda electroquímica que mide la concentración de este gas traza por reacción con una solución acuosa de yoduro de potasio, siendo la información remitida a tierra en tiempo real por enlace de radio. El día 15/05/2001 en el SMN, sector de Aeroparque, se obtuvo de esta forma y por primera vez un perfil del ozono troposférico, además del estratosférico. Ambos perfiles se comparan con los empleados por el equipo satelital TOMS y los del US Standard Atmosphere. La irradiancia solar UVB fue calculada empleando el algoritmo de Madronich para obtener la solución de la ecuación de transferencia radiativa atmosférica, incluyendo los perfiles DIAL y de ozonsondeo. Los resultados correspondientes se comparan con las mediciones UVB realizadas en Buenos Aires.

This work presents atmospheric ozone profile measurements made over Buenos Aires, by two techniques: DIAL (Differential Absorption Lidar) and ozone sounding. The first one is applied since the end of 1999 at CEILAP, and measurements made between March 2000 and May 2001 are presented. The second technique consist in the launching of a balloon with an electrochemical cell that measures the concentration of ozone by registering the reaction with a KI water solution, been the information send to the ground at real time by radio wave link. The launching was made from the National Weather Service station on May 15, 2001. With this technique and for the first time a tropospheric ozone profile was determined, besides the stratospheric one. Both profiles are compared with those employed in the determination of total ozone from TOMS satellite instrument and with that corresponding to the US Standard Atmosphere. The solar irradiance UVB is calculated using the Madronich code to solve the atmosphere radiative transfer equation, including the DIAL and ozone sounding profiles. These results are compared with UVB measurements carried out in Buenos Aires.

I. INTRODUCCIÓN

Desde fines del siglo XIX, distintos grupos científicos han estudiado el importante rol que desempeña la capa de ozono con respecto a la absorción de la radiación ultravioleta B (UV-B) emitida por el sol. La capa de ozono estratosférica es considerada como un filtro invisible que protege toda forma de vida contra los peligros de la sobreexposición a los rayos ultravioletas. Alrededor del noventa por ciento del ozono atmosférico está concentrado en la estratosfera, a una distancia situada entre los 15 y 50 km por encima de la superficie terrestre. La mayor concentración se encuentra a una altitud de 20-25 km. El equilibrio del ozono en la atmósfera terrestre proviene de un gran número de interacciones químicas puestas en juego, la radiación solar y los constituyentes atmosféricos minoritarios. Su repartición espacial y temporal a escala global es el resultado de los efectos combinados de la fotoquímica y de los procesos de transporte. La disminución del contenido integral de ozono induce un aumento de la radiación ultravioleta que llega a la superficie, susceptible de afectar la salud de los humanos, de los animales y de las plantas [UNEP report].

Es por ello que la medición de la concentración del ozono en la atmósfera y la comprensión del balance

del mismo en las distintas porciones de la atmósfera es de gran interés. Además, por ser un gas traza que condiciona la temperatura de la estratosfera y permite seguir la evolución dinámica del aire.

Impulsado por este objetivo, ya desde finales de 1998 opera en el CEILAP (Villa Martelli, Buenos Aires, 34,5° S, 58,5° O) un sistema DIAL (Differential Absorption Lidar) que mide perfiles de ozono entre 18 y 35 km.

II. TÉCNICAS DE MEDICIÓN

Lidar de absorción diferencial

El sistema DIAL es un instrumento poderoso para monitorear la distribución vertical de ozono estratosférico y otros parámetros atmosféricos. En el mismo no existen constantes instrumentales involucradas y es autocalibrado. Esta técnica usa dos longitudes de onda, λ_{on} y λ_{off} , que son absorbidas en forma diferente por el ozono. Una es seleccionada dentro de la banda de absorción fuerte del ozono (λ_{on}) mientras que la otra, llamada longitud de onda de referencia (λ_{off}), es prácticamente no absorbida. La diferencia entre las señales lidar de retrodispersión medidas determina la concentración de ozono. La descripción del sistema DIAL utilizado en el CEILAP

así como los detalles de la inversión involucrada en la determinación del perfil vertical de ozono estratosférico puede consultarse en Pazmiño *et al*⁽¹⁾.

En las figuras 1 y 2 se observan perfiles de ozono típicos obtenidos con el sistema DIAL de ozono. Los mismos corresponden a dos épocas del año diferentes: fines del verano y principios de la primavera para el año 2000 y 2001. En el primer período se observa que la altura del pico de máxima concentración ($4-4,5 \times 10^{12}$ molec/cm³) esta posicionada a una altura de aproximadamente 25 km, mientras que para los perfiles de comienzos de la primavera, la altura donde se posiciona el pico es menor, alrededor de 22 km, pero los valores de concentración alcanzan un máximo mayor ($5-5,5 \times 10^{12}$ molec/cm³). Este comportamiento está en correlación con los procesos de creación de ozono en la estratosfera alta y el transporte dinámico que tienen influencias máximas en cada uno de los períodos mencionados, y son típicos de la latitud de Buenos Aires⁽²⁾.

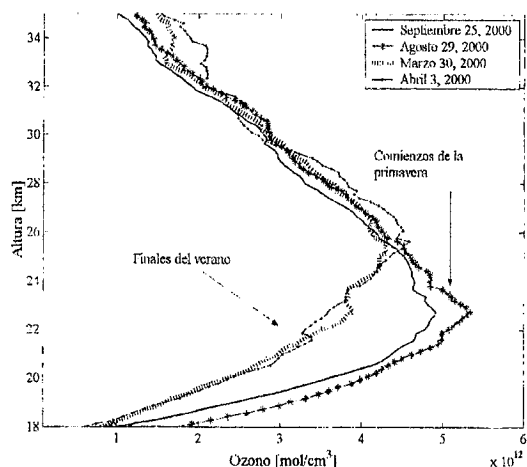


Figura 1. Perfiles de ozono característicos del año 2000 obtenidos con DIAL sobre Buenos Aires

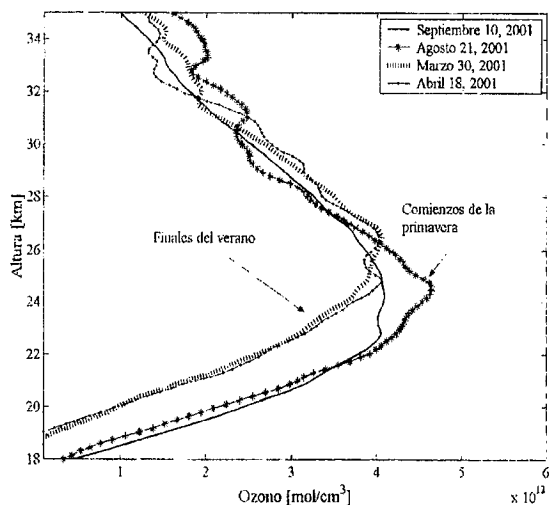


Figura 2. Perfiles de ozono característicos del año 2001 obtenidos con DIAL sobre Buenos Aires

Durante el verano, la radiación ultravioleta que llega al tope de la atmósfera es máxima, creando gran cantidad de ozono que absorbe parte de esta radiación,

por lo cual el pico de máxima concentración se produce a una altura de unos 25 km.

Por otro lado en los comienzos de la primavera la conducción dinámica de masas de aire ricas en ozono desde los trópicos en la estratosfera baja provoca un máximo en la concentración de ozono a una altura menor que en el otro período (22 km).

Ozonosonda

Esta es otra técnica frecuente para medir la concentración de ozono en la atmósfera. La misma se vale de una solución acuosa de yoduro de potasio dentro de una celda electroquímica que reacciona con el ozono atmosférico, forzado a pasar por la celda por medio de una pequeña bomba. La reacción química produce una corriente proporcional a la concentración de ozono que fluye en ese momento por la celda y los datos son transmitidos a tierra por medio de un enlace de radio. Todo el dispositivo se encuentra adosado a una radiosonda Vaisala RS 80 (Tabla 1), que asciende sujeta a un globo meteorológico inflado con hidrogeno hasta una altura máxima promedio de 35 km (10 hPa).

Tabla 1. Detalles de la ozonosonda

| | |
|--------------------|---------------------------|
| Tipo de ozonosonda | ECC -6 ^a |
| Tipo de radiosonda | Vaisala RS-80 |
| Rango de medición | 0-35 km (1000 hPa-10 hPa) |
| Resolución | 50 m |

El 15 de mayo de 2001 se realizó un ozonosondeo en el área de mantenimiento de la Fuerza Aérea Argentina (sector Aeroparque) como parte del programa del curso de entrenamiento para operadores de ozonosonda en la Antártica, dictado por profesionales pertenecientes al servicio meteorológico finlandés (FMI) conjuntamente con el Servicio Meteorológico Nacional, dependiente de la Fuerza Aérea Argentina.

En esta oportunidad se obtuvo un perfil de ozono desde la superficie hasta los 34,5 km, pudiéndose observar dicho perfil en la troposfera por primera vez sobre Buenos Aires. Esta medición aportó datos importantes sobre la distribución típica del ozono para un amplio rango de alturas y el peso relativo de la porción troposférica y estratosférica en la integral total del perfil. Estos datos pueden verse en la tabla 2.

Tabla 2. Integral del perfil obtenido por la ozonosonda para diferentes alturas.

| | Rango de alturas | Porcentaje |
|----------------|------------------|------------|
| Ozonosondeo | 0-18 km | 19,2 % |
| | 18 - 20 km | 8,8 % |
| | 20 - 34 km | 62 % |
| Ozono residual | > 34 km | 10 % |

La integral total del perfil del ozonosondeo entre la superficie y los 34,5 km es de 269 DU que corresponde al 90% de ozono medido por el radiómetro Dobson del Servicio Meteorológico Nacional en Villa Ortúzar para ese día (299 DU). El 10% restante es denominado ozono residual y se calcula analíticamente utilizando el último valor de ozono medido por la ozonosonda. De la tabla 2 se ve que aproximadamente el 20% de la columna total de ozono se encuentra entre la superficie y los 18 km (troposfera – estratosfera baja), mientras que el 70% se encuentra entre los 18 y los 35 km. Este análisis pone en evidencia la importancia de obtener mediciones precisas en la baja estratosfera donde la variabilidad del perfil de ozono durante el año es grande debido como ya se indicó a procesos de circulación atmosférica. La falta de resolución a esta altura puede ocasionar grandes errores en la integral total del perfil.

En la figura 3 pueden observarse tres perfiles de ozono diferentes para el día 15 de julio de 2001 desde la superficie hasta los 50 km provenientes de distintas fuentes. En línea continua se muestra el perfil compuesto del ozonosondeo desde la superficie hasta los 24 km y la medición lidar entre 24 y 34 km. Mas allá de esta altura se utilizó la climatología (promedio de mediciones durante un largo periodo de tiempo) para extender el perfil hasta los 50 km. En línea rayada se representa el perfil lidar entre 20 y 50 km completado en la troposfera con la tendencia del perfil US Standard. Por último la línea de puntos describe la climatología utilizada por el satélite TOMS correspondiente a esta latitud y época del año.

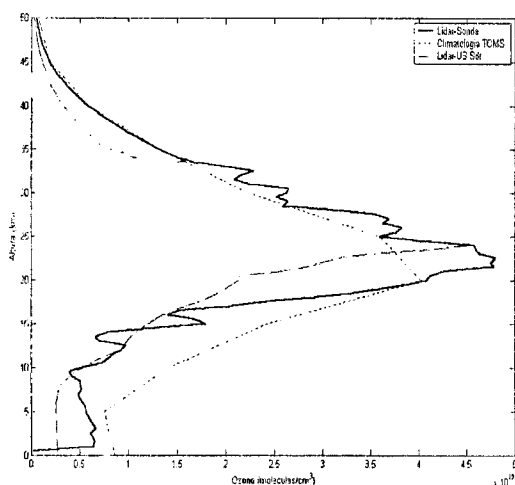


Figura 3. Diferentes perfiles de ozono correspondientes al día 15 de mayo de 2001, sobre Buenos Aires.

La diferencia observada entre el perfil lidar y la ozonosonda en la baja estratosfera puede deberse a problemas de saturación de la señal lidar en esta porción de la atmósfera, así como también a problemas de la corriente de pérdida del fotomultiplicador, que luego de

las mediciones se comprobó estar fuera del rango normal. Por esta razón se decidió utilizar el perfil lidar solo por arriba de los 20 km, aunque esta técnica es capaz de proporcionar perfiles de ozono desde los 18 km.

III- MODELIZACIÓN DE LA IRRADIANCIA SOLAR UVB

Dentro del espectro solar, las longitudes de onda más cortas que alcanzan la superficie terrestre están en el rango UV-B (290-315 nm). En el tope de la atmósfera este rango de longitudes de onda contribuye hasta en un 1,5% del total de la irradiancia solar, mientras que en la superficie de la tierra ellas contribuyen en promedio no más que el 0,5%. Así, desde un punto de vista energético, el rango UV-B del espectro solar es de importancia menor; no obstante, este rango es altamente significativo para la biosfera terrestre. Además de la intensidad absoluta, las variaciones del flujo de radiación UV-B solar desempeñan un rol significativo para los organismos⁽³⁾.

Estas variaciones son en su mayoría consecuencia de la variabilidad natural de las condiciones ambientales y atmosféricas. No obstante, el reciente desarrollo de la contaminación del aire comienza a tener gran preponderancia en zonas de alta concentración de partículas en suspensión.

La influencia del ozono atmosférico sobre el flujo de radiación solar se incrementa cuando la longitud de onda decrece, porque el coeficiente de absorción del ozono crece fuertemente con longitudes de onda decrecientes. Casi no existe influencia del ozono a longitudes de onda más grandes que 330 nm.

La influencia cualitativa del ozono puede ser calculada usando un modelo de radiación, y el resultado puede ser expresado en el llamado "radiation amplification factor" (RAF). El RAF define el porcentaje en que se incrementa el flujo de radiación solar si el contenido de ozono decrece en 1%. Para el espectro de acción eritémica (señal de alarma de la piel) el RAF es de 1,25%⁽⁴⁾.

Por medio de la utilización del algoritmo computacional TUV desarrollado por Madronich/NCAR⁽⁵⁾ para la resolución de la ecuación de transferencia radiativa atmosférica, se calculó la irradiancia solar eritémica en el rango UV-B utilizando como perfiles de ozono las diferentes opciones detalladas en la figura 3.

Los resultados de estos cálculos se compararon con las irradiancias eritemicas medidas en el CEILAP con el instrumento biómetro EKO modelo MS-210D ubicado en la terraza de dicho laboratorio.

Estas comparaciones se muestran en la figura 4. Se eligieron dos días cercanos al ozonosondeo correspondientes a días despejados como característicos de la irradiancia eritémica para el mes de mayo.

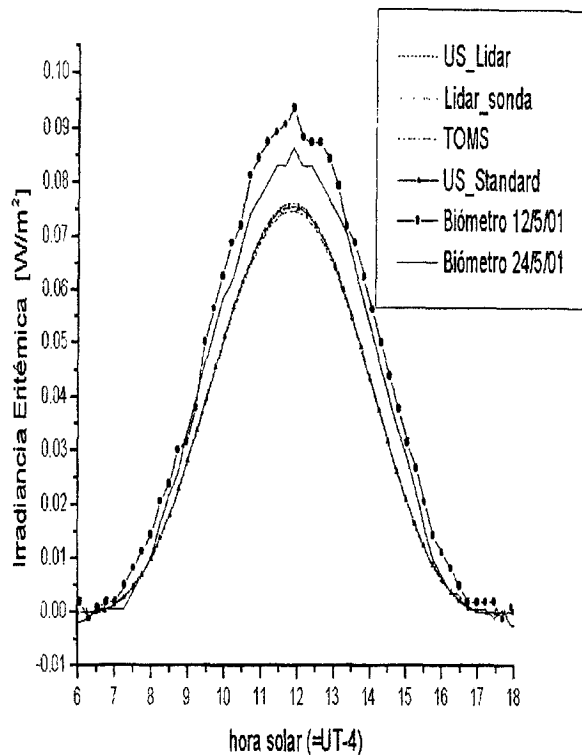


Figura 4. Irradiancias eritemicas medidas en el Ceilap con el biómetro EKO para los días 12/5/01 y 24/5/01 y curvas modelas con el TUV para el día 15/5/01.

IV- CONCLUSIONES

La comparación entre el perfil Lidar y el obtenido con ozonsondeo tiene un buen acuerdo (5%) entre los 24 y 30 km. La mayor diferencia se encuentra en la estratósfera baja (15-20 km), debiéndose esta situación a la saturación de la señal de retrodifusión para las capas bajas de la atmósfera. Se prevé la corrección de esta discrepancia separando la adquisición de la señal lidar en una región de alta y baja altitud proyectada en el nuevo sistema.

La irradiancia eritemica solar ha sido medida en el CEILAP con el biómetro EKO facilitado por la CONAE, en los únicos días de cielo claro, 12 y 24 del mes de mayo de 2001. El comportamiento es el típico de esta variable representativa del riesgo solar, similar a una función seno cuadrado, con un máximo al mediodía solar.

Los valores en este momento del día, dan en promedio un 14 % más alto que los obtenidos con el modelo TUV⁽⁵⁾ empleando el perfil de ozono estandar lidar-ozonsonda y un 16 % considerando el perfil TOMS para la banda latitudinal que incluye Buenos Aires. Los resultados determinados con perfiles lidar-US estandar y directamente el US estandar dan valores

intermedios. La diferencia promedio del 15 % puede deberse a varias causas: error sistemático del instrumento (como es frecuente en este tipo de medidores de la radiación solar de muy baja intensidad que llega a la superficie terrestre); diferente curva representativa de la acción eritemica espectral entre el instrumento y el modelo teórico; valor más bajo de la columna de ozono que el medido por el satélite (dado que a latitudes medias del Hemisferio Sur sobreestima este valor en unos porcentos como lo determinaron Piacentini et al⁽⁶⁾; aerosoles menores a los considerados por efecto de las continuas lluvias que "lavan" la atmósfera, etc.

V - AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Dr. Sasha Madronich, a Pablo García del Observatorio Astronómico de Rosario, a Pablo Cesarano del CEILAP, al Ing. M. Ginzburg del SMN, al Dr Juha Karhu del Finland Meteorological Institute. También agradecemos al Mayor Mario Jorge García por facilitarnos los datos del ozonsondeo realizado en Buenos Aires en el área de mantenimiento de la Fuerza Aérea Argentina. El presente trabajo cuenta con apoyo parcial de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, el CONICET, el Programa de intercambio científico Argentina-Francia.

Referencias

- 1 - A. Pazmiño, M. B. Lavorato, G. J. Fochesatto, P. R. Ristori, P. A. Cesarano, M. L. Castellón, E. J. Quel et al. "Advances in Laser Remote Sensing", Ed. A. Dabas, C. Loth, J. Pelon. ILRC 2000. p. 373.
- 2 - E. Wolfram, A. F. Pazmiño, M. B. Lavorato, E. J. Quel, S. Godin, G. Mégie. " Mediciones de pefiles de ozono estratosférico desde 1999 sobre Buenos Aires", in: XII Congreso Argentino de Físicoquímica y Química Inorgánica", San Martín de los Andes San Martín de Los Andes, Neuquén, Patagonia, Argentina 23 al 27 de Abril de 2001.
- 3 - M. Blumthaler, "UV-B Radiation and Ozone Depletion", Ed., M. Tevini, Lewis Publishers, (1993).
- 4 - S. Madronich et al. "Changes in Biologically Active Ultraviolet Radiation reaching the Earth's Surface", in Environmental Effects of Ozone Depletion: 1991 adapted (Nairobi: United Nations Environmental Programme, 1991), pp.1-14.
- 5 - S. Madronich et al. "Theoretical estimation of biologically effective UV radiation at Earth's surface", in: C. Zerefos (ED.) , Solar Ultraviolet Radiation - Modeling, Measurement and Effect, NATO ASI Series vol. 152, Springer, Berlin 1997
- 6 - R. D. Piacentini, E. Crinó, J. Sirur Flores y M. Ginzburg, Advances in Space Research, en prensa.