

Estudio de la atenuación de la radiación solar por aerosoles sobre Buenos Aires durante un evento extremo ocurrido en el 2003

Wolfram E.^{1,2*}, Otero L.³, Murruni L.⁴, Salvador J.⁵, D'Elia R.¹, Paladini A.⁶, Quel E.¹ y Piacentini R. D.^{7,8}

1. CEILAP(CITEFA-CONICET), Villa Martelli, Argentina
 2. Becario CONICET
 3. BECARIA CONAE
 4. UNSAM, ESCUELA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
 5. BECARIO UNSAM, ESCUELA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
 6. INGEBI (CONICET)
 7. IFIR (CONICET-UNROSARIO)
 8. FCEIA/UNROSARIO
- ewolfram@citefa.gov.ar

En el presente trabajo estudiamos la atenuación que producen los aerosoles atmosféricos en la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra, en el rango ultravioleta (290 nm – 400 nm) durante un evento de contaminación aerosólica extremo ocurrido en la Ciudad de Buenos Aires. Para tal fin utilizamos el radiómetro de banda angosta moderada GUV (Biospherical Inst) perteneciente a la Red de Monitoreo Solar de Argentina, en particular el instrumento ubicado en los suburbios del Gran Buenos Aires (CEILAP, Villa Martelli). Por medio del modelo Tropospheric Ultraviolet-Visible (TUV) desarrollado por Madronich (www.acd.ucar.edu/TUV), que resuelve la ecuación de transferencia radiativa, calculamos los aerosoles efectivos para Buenos Aires en el día considerado. Estos resultados se comparan con los datos derivados del fotómetro solar CIMEL perteneciente a la red AERONET/NASA ubicado en el CEILAP. Además, aportamos mediciones gravimétricas de aerosoles atmosféricos de la fracción fina PM_{2,5} y gruesa PM_{2,5-10} colectadas simultáneamente durante el evento de contaminación extremo estudiado, a partir de muestras tomadas en la parte exterior del Laboratorio TANDAR/CNEA, ubicado a corta distancia del CEILAP.

In the present work we study the attenuation produced by atmospheric aerosols on solar radiation arriving at ground surface, in the ultraviolet range (290-400 nm) during extreme contamination events occurred over Buenos Aires city. For this study we used the moderated narrow band radiometer GUV (Biospherical Inst) that belongs to the Argentina Solar Monitoring Network. In particular we employed the instrument deployed in Buenos Aires suburb (CEILAP, Villa Martelli). By the use of the Tropospheric Ultraviolet-Visible (TUV) model developed by Madronich (www.acd.ucar.edu/TUV), that resolve the radiative transfer equation, we calculated the effective aerosols for Buenos Aires at the study date. These results are compared with those derived from data taken by the CIMEL solar photometer (AERONET/NASA) deployed at CEILAP. Also we made gravimetric measurements of atmospheric aerosols of fine particles PM_{2,5} and course particles PM_{2,5-10} simultaneously, collected during the extreme contamination events under study from samples taken outside the TANDAR/CNEA Laboratory, placed very near CEILAP.

I. INTRODUCCIÓN

Las partículas pequeñas suspendidas en el aire, comúnmente llamadas *aerosoles*, pueden tener un efecto significativo sobre la transmisión de la radiación UV que llega a la superficie de la Tierra. La magnitud de este efecto es altamente variable, dependiendo del número de partículas y sus propiedades físicas y químicas. Estas partículas son frecuentemente encontradas en la parte más baja de la troposfera (la capa límite) y están a menudo asociadas con la contaminación atmosférica.

Liu et al.¹ estimaron que los aerosoles sulfurosos de origen antropogénico (asociados principalmente con el uso de combustibles fósiles) producen una reducción de la irradiancia UV-B en superficie entre un 5-18% en zonas industrializadas del hemisferio norte. Los efectos medidos sobre la radiación UV son altamente variables y específicos de cada lugar.

Ciertas consideraciones importantes deben tenerse en cuenta cuando las partículas aerosólicas

son altamente absorbentes (e.j. hollín) o simplemente dispersan, es decir re-dirigen la radiación incidente, como es el caso de los aerosoles sulfurosos. En general todas las partículas tienden a reducir la irradiancia UV (definida como la radiación incidente sobre una superficie horizontal). No obstante la dispersión por aerosoles no absorbentes puede realmente incrementar la exposición a la radiación UV sobre superficies no horizontales debido a la radiación adicional desde ángulos bajos². Los efectos netos sobre sistemas biológicos (humanos y resto de los animales, plantas, etc) generados por tales cambios de dirección de incidencia, no están completamente comprendidos.

II. METODOLOGÍA

En el presente trabajo, el instrumento utilizado para realizar las mediciones de la radiación ultravioleta es un radiómetro con filtros multicanal GUV-541 fabricado por la compañía Biospherical Instruments, San Diego. La parte óptica de este tipo

* Elian Wolfram. CEILAP

de instrumentos consiste típicamente de un difusor de teflón o cuarzo, filtros interferenciales y detectores fotosensibles. El GUV-541 posee cinco canales de medición UV con longitudes de onda centrales en 305, 313, 320,340 y 380 nm y un ancho de banda de 10 nm (FWHM) aproximadamente. Este instrumento integra la Red de Monitoreo Solar Argentina³ (<http://www.dna.uba.ar>).

Los espesores ópticos de aerosoles fueron medidos con el fotómetro solar CIMEL perteneciente a la red AERONET (Aerosols Robotic Network)⁴. Este instrumento realiza mediciones de la radiación solar directa con un campo de visión de 1,2°. La incertezas relativas en las mediciones de espesor óptico de aerosoles (AOT), debidos principalmente a la incerteza en la determinación del flujo extraterrestre, junto a errores adicionales, están entre 0,01-0,02⁵.

La modelización de la irradiancia espectral solar en superficie se llevó a cabo con el modelo de transferencia radiativa TUV (Tropospheric Ultraviolet-Visible Model) desarrollado por Madronich⁶, el cual utiliza la aproximación del método two-stream. La distribución angular de la intensidad (o radiancia) en este modelo está representada por una función simple que permite expresar la ecuación íntegro-diferencial de transferencia radiativa en términos matemáticamente resolubles, utilizando el esquema delta-Eddington⁷ para su resolución.

El modelo tiene como variables de entrada parámetros geográficos y temporales y columna total de ozono, además puede incluir la atenuación producida por aerosoles y capas estratificadas de nubes de diferentes espesores ópticos.

Es difícil estimar cuando las aproximaciones realizadas en la modelización son más importantes que las incertezas en los parámetros de entrada. Se ha mostrado⁸ que si el estado del cielo es extremadamente bien caracterizado (e.j. despejado, sin polución, con mediciones auxiliares de perfiles de ozono, reflectividad del suelo, etc), el acuerdo entre modelo y mediciones está dentro del 5% para el rango 320-400 nm y aproximadamente 10% en el rango 300-320 nm.

El análisis de atenuación se realizó sobre la línea de 380 nm, por considerarse la más estable del instrumento y permitir la intercomparación con otros instrumentos.

III. RECOLECCIÓN DE AEROSOLES

Partículas de aerosoles PM2.5 ($dp < 2.5 \mu\text{m}$) y PM2.5-10 ($2.5 \mu\text{m} < dp < 10 \mu\text{m}$) fueron recolectadas con un equipo Andersen Graseby 240 dicótomo ($16,7 \text{ lmin}^{-1}$), en tanto que, simultáneamente, aerosoles totales (TSP) fueron recolectados con una bomba AirCon-2 (12 lmin^{-1}).

En todos los casos, la recolección se realizó sobre filtros de policarbonato (Millipore, 37 mm, 0,45 mm) durante 12 hs diurnas en el período

invierno 2003 verano 2004. La masa depositada fue determinada usando una microbalanza Mettler Me ($\pm 1 \mu\text{g}$). Los filtros fueron irradiados antes de la pesada con una fuente de partículas α ^{244}Cm (6.7 mCi) a fin de evitar la carga electrostática que desestabiliza la balanza. Las concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de los aerosoles son reportadas en el ítem V.

IV. DATOS ANALIZADOS

El caso de estudio seleccionado fue el 20 de agosto de 2003.

Para este día se presenta la irradiancia espectral solar medida por el GUV 541 del CEILAP en la línea de 380 nm y los espesores ópticos medidos por el radiómetro solar de AERONET en siete diferentes longitudes de onda (340, 380, 440, 500, 670, 870 y 1020 nm) todas fuera de las bandas de absorción moleculares presentes en la atmósfera. Con el objetivo de analizar la procedencia de las masas de aire se realizó el cálculo de las retro trayectorias de las parcelas de aire a tres niveles de altura (500, 1500 y 3000 m asl). Las mismas fueron calculadas utilizando el modelo HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory), el cual permite calcular trayectorias de parcelas de aire. Este ha sido desarrollado por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).

La identificación de aerosoles fue realizada analizando los gráficos del exponente de Angstrom⁹ en función del espesor óptico de aerosoles a 500 nm. Estos datos son calculados a partir de los espesores ópticos medidos por el fotómetro solar. El análisis de estos gráficos permite identificar fuentes posibles de aerosoles atmosféricos de acuerdo al catálogo OPAC¹⁰: Optical Properties for Aerosols and Clouds.

V. DISCUSIÓN

En la figura 1 es posible observar la atenuación (65%) con respecto a condiciones de atmósfera limpia que produjo sobre la irradiancia solar en superficie en la línea de 380nm una nube de aerosoles de elevado espesor óptico, a las 16 Hs. (hora local). También se muestra el resultado de la modelización de la irradiancia espectral de 380 nm (líneas grises) para diferentes valores de AOT. Dentro de la precisión del modelo, los valores de mejor ajuste corresponden con los valores de AOT medidos por el fotómetro solar CIMEL de AERONET, con AOT (340nm) de 2,5 a las 16 Hs. (hora local) (figura 2).

El análisis de retro trayectoria correspondiente a ese día (figura 3) muestra el arribo de masas de aire provenientes del noroeste del país, en los tres niveles de altura estudiados.

La figura 4, muestra la relación funcional entre el coeficiente de Angstrom (Alfa) y el espesor óptico en 500 nm. Los elevados valores de alfa ($\alpha > 1,9$) correspondientes a partículas pequeñas y AOT(500nm) grandes para la media de Buenos Aires

($AOT_{mean}(500nm)=0,1$), derivada de datos estadísticos del fotómetro CIMEL, permiten asociar a este tipo de aerosoles con aquellos producidos por quemas de biomasa (biomass burning) según el estándar OPAC.

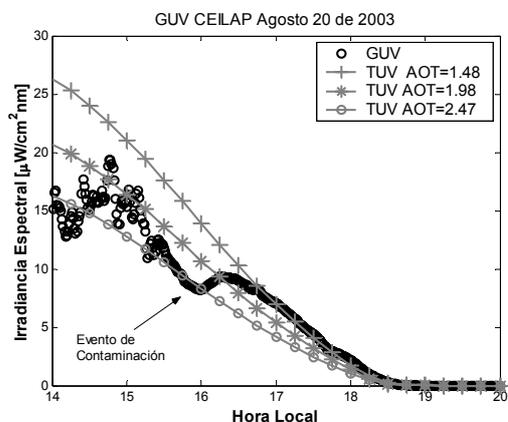


Figura 1. Irradiancia espectral solar en 380 nm medida con el GUV-541 del CEILAP (círculos). Irradiancia espectral en 380 nm modelada con el TUV, para el día 20 de Agosto de 2003

La figura 5 muestra las concentraciones de partículas recolectadas durante 24 hs con un filtro de policarbonato (ver recolección de Aerosoles). El mismo muestra un máximo de las partícula en suspensión totales (TSP) para el día 21 de agosto, lo cual confirma el episodio de contaminación.

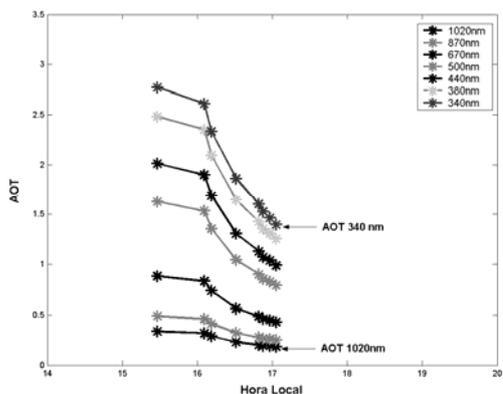


Figura 2. Espesor óptico de aerosoles medido por el fotómetro solar CIMEL de la red AERONET (level 2) en el CEILAP. Agosto 20 de 2004.

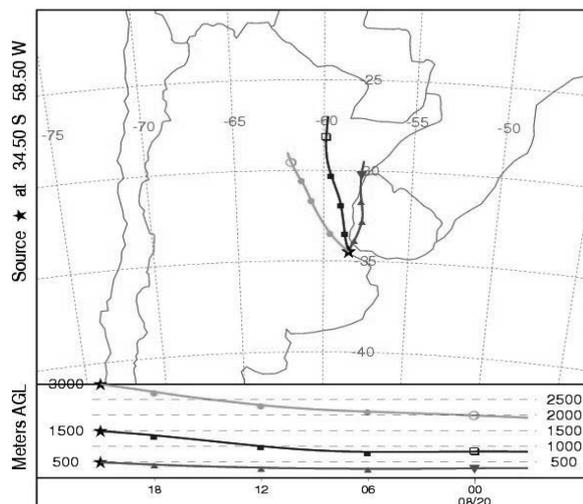


Figura 3. Retrotrayectoria de 24 Hs. calculada con el modelo HYSPLIT de la NOAA. Finalización de la retrotrayectoria para el día 20 de agosto de 2003 a las 18 Hs local.

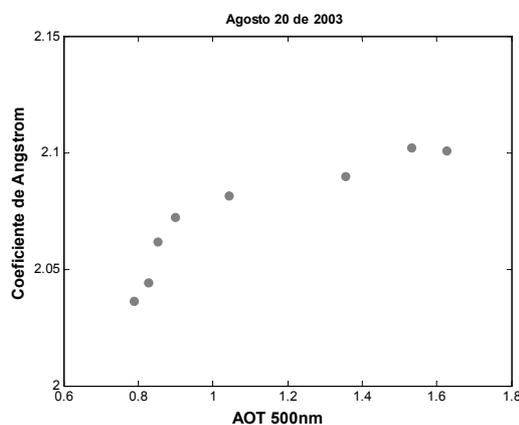


Figura 4. Exponente Alfa de la ley de Angstrom en función del AOT en 500 nm, para el día 20 de Agosto de 2003

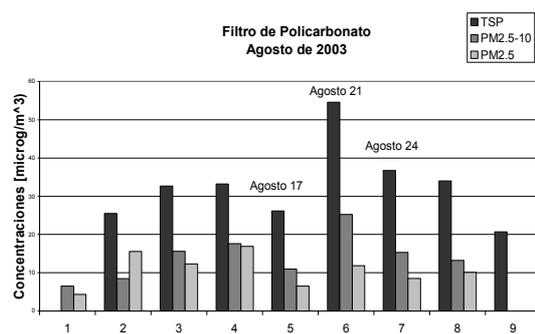


Figura 5. Concentraciones de partículas recolectadas en superficie para el mes de agosto de 2003. Ver ítem III: Recolección de aerosoles

VI. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se estudió un caso de contaminación intensa por aerosoles sobre la ciudad de Buenos Aires. Del análisis realizado se llegó a la conclusión de que en ese evento de contaminación de 20 agosto de 2003, la principal fuente de aerosoles atmosféricos fue la quema de biomasa, probablemente proveniente de la parte sur del Brasil, y que son transportados hasta Buenos Aires en las capas bajas y medias de la atmósfera. Los valores grandes del coeficiente de Angstrom, $\alpha > 1,7$ para estos eventos corresponden a partículas de menos de $1 \mu\text{m}$, y los espesores ópticos para estos casos $\text{AOT}(500\text{nm}) = 0,5$ son de varias veces la media para los suburbios de Buenos Aires.

Se prevé extender este tipo de análisis para otros días de contaminación detectados y así aumentar la comprensión del tipo de atenuación que producen en la radiación ultravioleta, los aerosoles atmosféricos tanto naturales como antropogénicos.

Agradecimientos

El presente proyecto contó con el apoyo de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica a través del subsidio PICT 6760 y de la JICA (Japan International Cooperation Agency)/Embajada de Japón en Argentina.

Referencias

1. Liu, S., S.A. McKeen, S. Madronich, Effect of anthropogenic aerosols on biologically active ultraviolet radiation, *Geophys. Res. Lett.* 18, 2265-2268, (1991)
2. Blumthaler, M., J. Schreder, J. Grobner, UV sky radiance influenced by aerosols and tropospheric ozone – measurements and modeling. *Proc. Int. Radiation Symp.*, Fairbanks, AK, 19-24 August 1996, Deepak Publishing, Hampton, VA, 1997.

3. Orce, V.L., Helbling, E.H., Paladini, A.A., Labraga, J.C., San Román, N.A., Latitudinal UV-PAR measurements in Argentina: extent of the 'ozone hole', *Global and Planetary Change*, 15, 113-121, 1997.

4. Holben, B.N., T.F.Eck, I. Slutsker, D. Tanré, J. P. Buis, A. Setzer, E. Vermote, J. A. Reagan, Y.J. Kaufman, T. Nakashima, F. Lavenu, I. Jankowiak, And A. Smirnov. AERONET- A Federated Instrument Network and Data Achieve for Aerosol Characterization, *Remote Sens.* 12, 1147-1163, (1991).

5. Eck, T, B.N. Holben, I. Slutsker, A. Setzer, Measurements of irradiance attenuation and estimation of aerosols single scattering albedo for biomass burning aerosols in Amazonia, *J. geophys. Res.* 103, 31865-31878, 1998.

6. Madronich, S. UV radiation in the natural and perturbed atmosphere, in *Environmental Effects of UV (Ultraviolet) Radiation* (M.Tevini, ed.) Lewis Publisher, Boca Raton, pp.17-69, 1993. TUV model .Web page: <http://www.acd.ucar.edu/TUV/>.

7. Joseph, J.H., W.J. wiscombe, and J.A. Weinmann, The delta-Eddington approximation for radiative transfer, *J.Atmos. Sci.*, 33,2452-2459, 1976.

8. McKenzie, R.I., M. Kotkamp, G. Seckmeyer, R. Erb, C.R.Roy, H.p. Gies, and S.J. Toomey, First southern hemisphere intercomparison of measured solar UV spectra, *Geophys. Res. Lett.*, 20, 2223-2226, 1993.

9. Angstrom, A., On the atmospheric transmission of Sun radiation and on dust in the air, *Geogr. Ann.* 12, 130-159, 1929

10. Hess, M., P. Koepke, and I. Schult, Optical properties of Aerosols and Clouds: The software package OPAC, *Bulletion of Amer. Met. Society*, 831-843, Vol. 79 No.5, May 1998