

# IRRADIANCIA ERITEMICA E INDICE DE RIESGO SOLAR EN ASUNCION, PARAGUAY EN EL PERIODO 1997-1999

R. D. Piacentini<sup>1-2</sup>, M. I. Micheletti<sup>1-3</sup>, D. N. Lazarte<sup>1</sup> y G. Coronel<sup>4</sup>

1 Instituto de Física Rosario (CONICET-UNRosario), 27 de Febrero 210 bis, 2000 Rosario, Argentina

2 Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, UNRosario

3 Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, UNRosario

4 Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay

*ruben@ifir.edu.ar*

Analizamos la irradiancia solar UV (290 nm-400 nm) registrada por un biómetro, con filtro que reproduce el espectro de acción eritemática (señal de alarma por enrojecimiento de la piel). Los datos fueron obtenidos en Asunción, Paraguay entre 1997 y 1999, en los meses de mayor contenido de aerosoles por quema de biomasa. Comparamos la irradiancia solar eritemática, transformada en el índice UV de riesgo solar con resultados de la solución de la ecuación de transferencia radiativa atmosférica, empleando el código de Madronich. La variable geofísica más importante, el ozono, es obtenida a través de las mediciones del TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer)/NASA a bordo del satélite Earth Probe. Respecto del espesor óptico de aerosoles, empleamos para su determinación el método de identificación de variables. De este modo obtenemos la variación temporal del índice UV, en particular durante el evento "quema de biomasa" que se intensifica en las regiones del Chaco y la Amazonia, hacia agosto-setiembre de cada año. Este índice se compara con el pronosticado por CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales/Argentina) para la región, comprobándose que en general el acuerdo es razonable, excepto para los días de alto espesor óptico de aerosoles por la intensa quema de biomasa.

We analyze the solar irradiance in the UV range (290 nm-400 nm) registered with a biometer having a filter that reproduces the erythemat (alarm of the skin) action spectral. Data were obtained in Asunción, Paraguay between 1997 and 1999, in the months with large aerosols content due to biomass burning. We compare the solar erythemat irradiance, transformed in the solar risk UV index, with results of the solution of the atmospheric radiative transfer equation, employing the Madronich code. The most important geophysical variable, ozone, is obtained through measurements made with the instrument TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer)/NASA on board of Earth Probe satellite. We employed the method of variable identification in order to determine the aerosol optical depth. In this way we calculate the time variation of the UV index, in particular during the biomass burning event, that is particularly important in the Chaco and Amazonia regions during August-September of each year.

We compare this index with the corresponding one forecasted by CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales/Argentina) for the region, giving in general a rather good agreement, except for the days of high aerosol optical depth due to the intense biomass burning.

## I. INTRODUCCION

El estudio de la radiación solar ultravioleta incidente sobre la superficie terrestre es de gran importancia por sus efectos biológicos y sobre materiales y sustancias químicas<sup>(1)</sup>. Corresponde al rango espectral que va desde 280 nm a 400 nm, el cual usualmente se divide en UVB (280 nm - 320 nm) y UVA (320 nm - 400 nm).

La intensidad espectral de radiación solar que incide sobre una dada superficie está compuesta de dos términos:

$$I_{\lambda,Dir}(\zeta) \quad (1)$$

que representa la componente directa de fotones UV que llegan del Sol sin ser desviados e

$$I_{\lambda,Dif}(\zeta) \quad (2)$$

la componente difusa de fotones que inciden desde todas direcciones. La variable  $\zeta$  incluye los factores que caracterizan el lugar geográfico (coordenadas y altura del lugar), el ángulo zenital solar ( $\theta_z$ ) y las componentes atmosféricas que afectan a la radiación considerada (aerosoles, ozono y demás gases). La primera componente está dada por la ley de atenuación exponencial y la segunda (transformando la variable longitud de onda en frecuencia,  $\lambda = c/\nu$ ) a través de la solución de la ecuación de transferencia radiativa

$$\frac{1}{\beta_\nu(s)} \frac{dI_\nu(s, \Omega)}{ds} + I_\nu(s, \Omega) = S_\nu(s) \quad (3)$$

donde  $s$  es la trayectoria en la dirección del haz incidente de radiación y  $\Omega$  el ángulo sólido asociado con dicha radiación y el punto considerado.  $\beta_\nu(s)$  es

el coeficiente de extinción espectral y  $S_v(s)$  la función fuente espectral, dados por:

$$S_v(s) \equiv (1 - \omega_v) I_{vb}(T) + \frac{1}{4\pi} \omega_v \int_{4\pi} p(\Omega', \Omega) I_v(s, \Omega') d\Omega' \quad (4)$$

$$\beta_v(s) \equiv k_v(s) + \sigma_v(s) \quad (5)$$

$$\omega_v \equiv \frac{\sigma_v(s)}{\beta_v(s)}, \quad 1 - \omega_v \equiv \frac{k_v(s)}{\beta_v(s)} \quad (6)$$

$$I_{vb}(T) \equiv \frac{2hv^3}{c^2 [\exp(hv/kT) - 1]} \quad (7)$$

Siendo  $k_v(s)$  y  $\sigma_v(s)$  los coeficientes espectrales de absorción y dispersión, respectivamente,  $\omega_v$  el albedo (reflectividad) espectral. La fórmula (7) expresa la muy conocida ley de Planck del cuerpo emisor ideal (cuerpo negro). Para el caso del Sol se lo aproxima por un emisor a una temperatura de 5700 K.

La irradiancia espectral solar UV incidente sobre la Tierra se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$I_\lambda(\zeta) = I_{\lambda,Dir}(\zeta) \cos(\theta_z) + I_{\lambda,Dif}(\zeta) \quad (8)$$

La irradiancia total solar UV resulta de integrar la fórmula anterior (8)

$$I_{UV}(\zeta) = \int_{280}^{400} I_\lambda(\zeta) d\lambda \quad (9)$$

cuya unidad es  $[W/m^2]$ .

La irradiancia de acción biológica y sobre sustancias y materiales se obtiene afectando con un factor de peso, el espectro de acción correspondiente  $B(\lambda)$ , a la irradiancia espectral UV dada por (8)

$$I_B(\zeta) = \int_{280}^{400} I_\lambda(\zeta) B(\lambda) d\lambda \quad (10)$$

siendo su unidad  $[W/m^2]$ .

En el caso en que la acción biológica considerada sea el eritema, que es la señal de alarma por enrojecimiento de la piel al recibir un exceso de radiación, el valor numérico de la irradiancia eritémica obtenido a través de la fórmula (10) expresada en unidades del Sistema Internacional y multiplicado por el factor 40, da el Índice de Riesgo Solar (UV Index) en cada momento del día. Por consiguiente

$$UV \text{ Index} = 40 I_{Erit}(\zeta) \quad (11)$$

considerándose este índice en valor adimensional. En Argentina se denomina ISUV (Índice solar ultravioleta) y ha sido desarrollado en el Instituto de Física y Observatorio Astronómico de Rosario. Es diariamente informado a través de la página web: <http://www.meteofa.mil.ar>, rubro Pronóstico ISUV.

Separando en la variable  $\zeta$  el ángulo zenital, relacionado con el tiempo a lo largo del día, indicando el resto de las variables con  $\zeta'$ , o sea  $\zeta = (\zeta', \theta_z)$  e integrando en dicho ángulo o en forma equivalente en el tiempo, resulta la irradiancia eritémica integrada en el tiempo, también llamada "dosis eritémica" o "exposición eritémica"

$$D_{Erit}(\zeta') = \int \int I_\lambda(\zeta) \bullet B_{erit}(\lambda) d\lambda dt \quad (12)$$

cuya unidad es  $[J/m^2]$ .

De todas las acciones de la radiación UV solar sobre los humanos, la eritémica es la empleada en mayor medida para indicar el riesgo de exposición al Sol. Esta acción está basada en el enrojecimiento de la piel luego de que se haya expuesto un tiempo que supera al mínimo standar. A esta cantidad se la denomina "dosis eritémica mínima", DEM, cuyo valor se define como 210 J/m<sup>2</sup>.

## II. MEDICIONES

En el presente trabajo presentamos las mediciones que se realizaron durante 1997 y por tres años, en Asunción, Paraguay (25.25°S, 57.5°W), empleando un biómetro YES. Este equipo posee un filtro que simula el espectro de acción eritémica considerado como estándar<sup>(2)</sup>. Teniendo en cuenta la información satelital aportada por el equipo TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) a bordo del satélite Earth Probe/NASA<sup>(3)</sup> sobre la irradiancia eritémica a nivel mundial y en particular en la región estudiada, puede establecerse que los resultados son aplicables en un radio de alrededor de unos 100-150 km centrado en el lugar de medición (en media mensual, ya que en periodos cortos las fluctuaciones en aerosoles principalmente provenientes de la actividad humana pueden producir modificaciones importantes), por lo que los resultados que se describen en este trabajo pueden extenderse tanto a Paraguay como a la región cercana del Norte Argentino, centrada en Clorinda, Provincia de Formosa.

## III. MODELO Y COMPARACION CON MEDICIONES

La irradiancia espectral fue determinada empleando el algoritmo TUV desarrollado en el NCAR (National Center for Atmospheric Research)/USA por Madronich<sup>(4)</sup>. Para ello debieron incluirse los parámetros y variables geofísicas y solar correspondientes al lugar geográfico en estudio. Los

valores correspondientes de ozono se incluyeron a partir de los registros del TOMS y la reflectividad del suelo se propuso en base a los datos de Blumthaler y Ambach<sup>(5)</sup>.

El comportamiento de la irradiancia es el esperado para la latitud, altura y atmósfera típica del lugar durante prácticamente todo el año, salvo en periodos especiales como la quema de biomasa, en los meses de invierno y principios de primavera. En la figura 1 adaptada del trabajo de Prins et al.<sup>(6)</sup> mostramos la distribución geográfica de los puntos (píxeles) de fuego registrados por superposición de imágenes del satélite GOES-8 en las regiones intertropical y subtropical de América del Sur, entre los meses de junio y octubre de 1995. Observamos en la extensa región que abarca el Amazonas en Brasil, el oriente de Bolivia, Paraguay y el centro-norte de Argentina, una gran cantidad de incendios, tanto naturales como antropogénicos (producidos por la actividad humana).

En la modelización, el espesor óptico de aerosoles, AOT, se suele representar mediante la relación de Angstrom<sup>(6)</sup>

$$AOT = \beta / \lambda^\alpha \quad (13)$$

donde la longitud de onda se mide en micrones y el coeficiente de extinción se relaciona con la visibilidad Vis (expresada en km) según la siguiente expresión<sup>(7,8)</sup>

$$\beta = (0.55)^\alpha \left( \frac{3.912}{Vis} - 0.01162 \right) [0.02472 (Vis - 5) + 1.132] \quad (14)$$

Sin embargo, durante el periodo de intensa quema, esta relación no es válida. El espesor óptico de aerosoles lo hemos obtenido identificando las irradiancias medidas con las calculadas empleando un dado espesor óptico, que llamamos "efectivo", puesto que fue calculado admitiendo que las demás cantidades

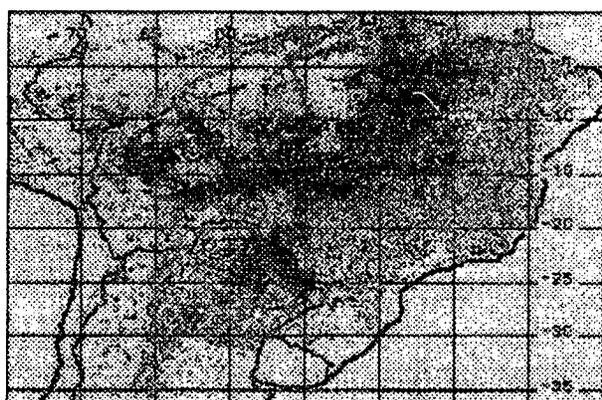


Figura 1. Mapa GOES-8 donde se muestra la ubicación de los puntos (píxeles) de fuego detectados por el satélite GOES sobre sudamérica entre junio y octubre de 1995 a las 17:45 (hora universal) Adaptado de ref. [8].

son suficientemente precisas como para no afectar los valores a determinar<sup>(9)</sup>. El año 1999 presentó un comportamiento particular muy definido con fuertes absorciones en el periodo agosto a setiembre, debido a

la presencia de importante cantidad de aerosoles. Una forma de determinar el origen de estas partículas es mediante el empleo de información satelital que el mismo TOMS provee, a través del mapa del índice de aerosol, como el que se muestra en la figura 2 para el día 4 de setiembre de 1999. De acuerdo al índice de aerosoles (AI) detallado en el código de "falsos colores", comprobamos que existe una intensa producción de aerosoles en la zona de intervalos de latitud y longitud dada por (5°-30° S, 57°-62° W), aproximadamente.

La evolución temporal queda evidenciada en la secuencia de imágenes diarias del TOMS que están disponibles para todos los días del periodo en estudio (figura 3). De estas imágenes (que por razones de espacio se incluyen sólo algunas) surge nítidamente que la "pluma" (nube viajera de contaminación) se originó en la quema de la región chaco-amazónica de Bolivia y Brasil y viajó siguiendo aproximadamente una dirección longitudinal hacia el Sur, partiendo alrededor del día 15 de agosto de 1999 y llegando a las cercanías de Asunción y zonas vecinas el 19 de agosto. El fenómeno terminó hacia el 10 de setiembre del mismo año.

La influencia de la nube de aerosoles, compuesta principalmente por emisiones de partículas producidas en la combustión de materia vegetal, queda evidenciada en la representación de la irradiancia solar crítica (esencialmente UVB de cortas longitudes de

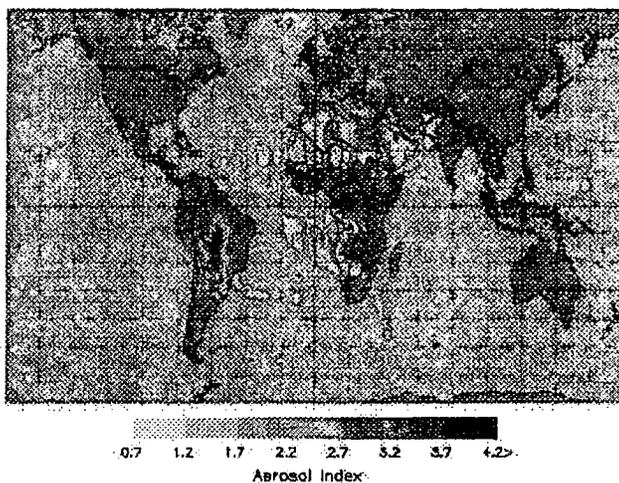


Figura 2. Índice de Aerosol (AI) medido por el equipo TOMS a bordo del satélite Earth Probe de la NASA, el día 4 de setiembre 1999.

onda) medida al mediodía solar en función de los días del año, en el periodo julio - setiembre de 1999, al comparar el comportamiento esperado en días de cielo claro con las fuertes absorciones medidas entre los días 230 y 250 de ese año (figura 4 superior).

A fin de obtener el espesor óptico de los aerosoles provenientes de esta quema, seleccionamos los días de cielo sin cubierta de nubes con cero "octas", siendo una "octa" la octava parte de la semiesfera celeste cubierta de nubes, o con pequeña cantidad de nubes que se considera de "cielo claro", con una o dos octas. De

este modo podremos discriminar las reducciones que fueron debidas a niebla de aerosoles de quema, de aquellas producidas por la presencia de nubes.

Empleando el modelo TUV de solución de la ecuación de transferencia radiativa atmosférica, con las variables

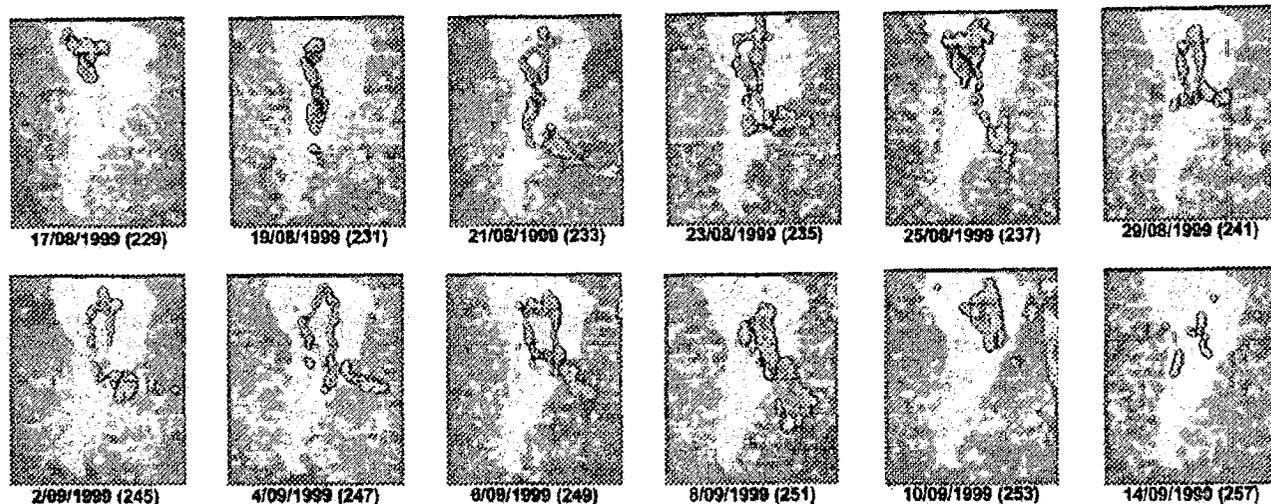


Figura 3: Idem figura 2, desde el 17 de agosto al 14 de setiembre 1999. Se observa la evolución de la "pluma" de contaminación avanzando desde la zona amazónica hacia Paraguay, norte-centro de Argentina, sur de Brasil, Uruguay y el Atlántico Sur.

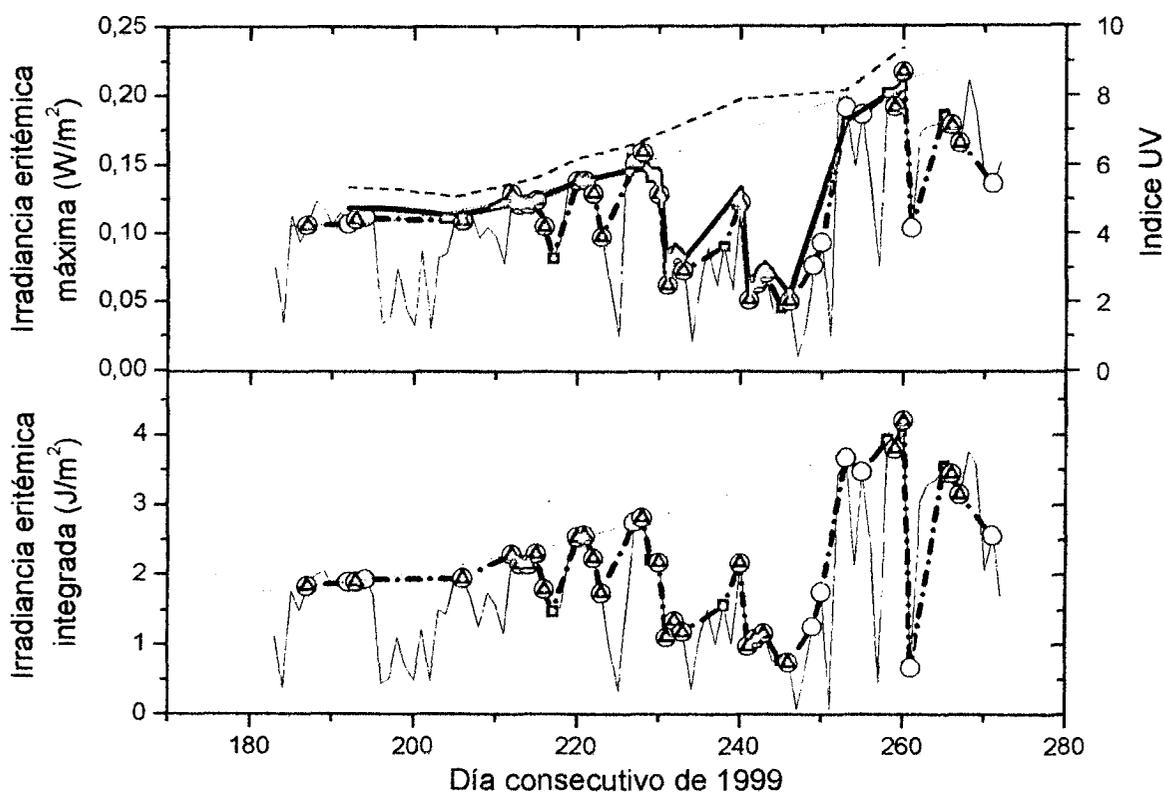


Figura 4. Superior: Irradiancia eritemica (indicadora de riesgo solar) medida al mediodia solar con biómetro YES en Asunción, Paraguay, entre julio y setiembre de 1999 para distintas condiciones de cubierta de nubes: mayor a 2 octas equivalente a 25 % de cielo cubierto (línea fina continua); menor o igual a 2 octas (cuadrados unidos con línea gruesa de punto y trazo); menor o igual a 1 octa equivalente a 14 % de cielo cubierto (circulo abierto); cero octa o cielo despejado (triángulo sólido). Resultados del modelo TUV (línea fina de trazo largo) y del modelo renormalizado y con AOTefectivo, ajustado para describir el evento de quema de biomasa (línea gruesa continua). Nota: la línea fina de trazo corto es un ajuste polinomial de 3er. grado a los valores máximos con cielo claro y el Índice UV ( $\sim 40 \times$  Irradiancia eritemica) se indica en la ordenada derecha. Inferior: Irradiancia eritemica integrada a lo largo de cada día, con las mismas notaciones que en la figura superior.

y parámetros geofísicos de perfiles de ozono y aerosoles, albedo de dispersión simple y factor de asimetría introducidos según lo propone el modelo, el valor total de ozono según las mediciones satelitales del TOMS para los días considerados y la reflectividad del suelo teniendo en cuenta el tipo de cubierta vegetal y la presencia de superficies de agua y zona habitada<sup>(5)</sup>, identificamos el valor del espesor óptico de aerosoles de modo de lograr el mejor ajuste con las mediciones. En la figura 4 comparamos las mediciones de la irradiancia eritémica efectuada al mediodía solar en 1999 con los cálculos. Los valores de AOT a 340 nm, están representados en la figura 5, conjuntamente con el índice de aerosoles que da el equipo TOMS para el mismo lugar geográfico y en los mismos días. Si bien esta última cantidad no es directamente el espesor óptico, sino que está relacionada con dicho espesor, ya que se define como la relación del logaritmo natural de irradiancias solares medida y observada a 340 nm, está en muy buen acuerdo cualitativo con el espesor óptico. Además, su valor es del orden del obtenido en el experimento SCAR-B (Smoke, Clouds, Radiation – Brazil experiment)<sup>(10-13)</sup> que investigó en detalle el periodo de agosto a setiembre de 1995 de quema de biomasa en el Amazonas, principal fuente de los aerosoles estudiados en el presente trabajo. Para obtener un valor más correcto del AOT de cada día, realizamos una renormalización ajustando las mediciones teóricas con un factor constante que reduce en 11% los datos calculados de modo de lograr un buen acuerdo promedio de la mediciones fuera del periodo de intensa quema, con parámetros típicos para el lugar y para el intervalo de tiempo considerados: ozono, derivado a partir de datos TOMS para el lugar, reflectividad de valor 0.06, albedo de dispersión simple y factor de asimetría, estos dos últimos parámetros con valores asignados directamente por el programa TUV. Es interesante constatar que el "índice UV" de riesgo solar (fórmula 11) se reduce significativamente en los días de alta concentración de

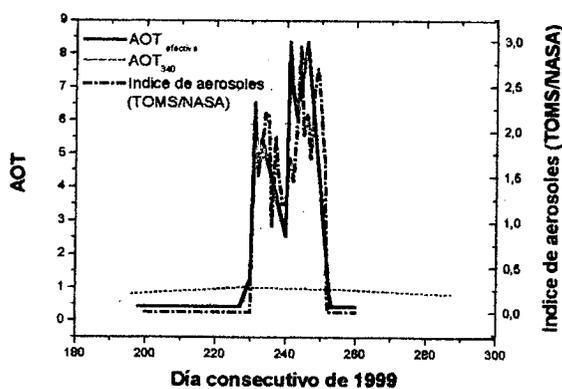


Figura 5. Caracterización de indicadores de aerosoles, AOT efectivo en 340 nm (línea continua) e índice de aerosoles (línea de punto y raya) en Asunción, Paraguay durante el periodo julio-setiembre de 1999 de quema de biomasa en las regiones del Chaco y del Amazonas medidos por el TOMS. Se incluye el AOT derivado de la relación entre beta y visibilidad (línea de trazos cortos).

aerosoles, tal como se observa en la misma figura, escala de la derecha. También representamos en la figura 5, el AOT que se obtendría si se empleara la relación de  $\beta$  con la visibilidad (provista por la Estación Meteorológica del Aeropuerto de Asunción de Paraguay) dada por la fórmula (14) y un exponente  $\alpha$  típico de la región y el periodo ( $\alpha=1.8$ )<sup>(12)</sup>. Comprobamos que no describe adecuadamente el intervalo de tiempo de alta concentración de aerosoles por quema de biomasa<sup>(10-13)</sup>.

Otro resultado interesante es el que está representado en la parte inferior de la figura 4, indicando la variación de la irradiancia eritémica integrada durante todo el día en función de los días del año. El comportamiento es muy similar al de la figura 4 (superior), por lo que deducimos que en general puede emplearse esta variable para determinar el riesgo solar en lugar de la irradiancia eritémica del mediodía solar, esta última directamente relacionada con el Índice UV.

Con el objetivo básico de verificar si el índice UV calculado por la CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales/Argentina)<sup>(14)</sup> y publicado diariamente en su página web<sup>(15)</sup>, en la figura 6 representamos dicho índice y el determinado en el presente trabajo.

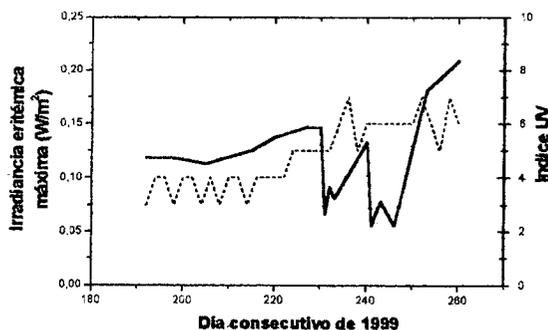


Figura 6. Comparación entre los índices UV determinados a partir del cálculo de la irradiancia eritémica (considerando el factor 40, según figura 4 superior) en mediodías de cielo claro de Asunción Paraguay en 1999 (línea continua) y a partir del modelo simple de transferencia radiativa sin incluir aerosoles [CONAE, H. Marraco, comunicación privada] (línea de trazo corto).

Observamos que el acuerdo es razonable fuera del periodo de quema intensa en la región chaco-amazónica, aunque tiene una variación sistemática promedio de alrededor de menos uno y medio puntos, pero difiere en varios puntos (cerca de dos y medio) en este periodo. Este resultado es comprensible, puesto que el simple modelo empleado para el cálculo, no incluye el efecto de los aerosoles.

En las figuras 7 y 8, presentamos los resultados de las mediciones de la irradiancia eritémica al mediodía solar e integrada todo el día para los años 1998 y 1997.

Observamos que el comportamiento es similar al anterior de 1999, pero con reducciones mucho menos significativas que las observadas en este último año.

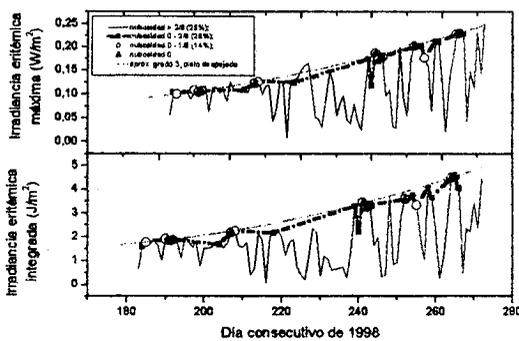


Figura 7. Idem figura 4 para 1998.

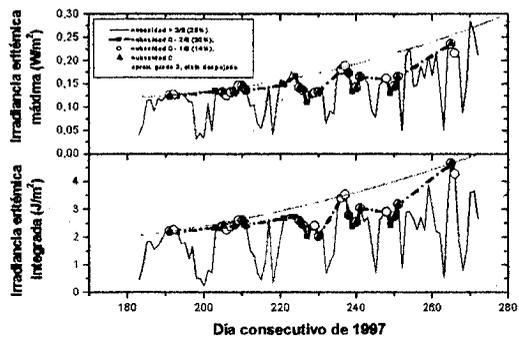


Figura 8. Idem figura 4 para 1997.

#### IV. CONCLUSIONES

Las conclusiones más importantes que se derivan del siguiente trabajo son las siguientes:

- La *irradiación eritemática* medida en Asunción, Paraguay con el instrumento YES usado internacionalmente para determinar el riesgo solar, ha sido fuertemente reducida por los aerosoles producidos por la quema de biomasa en agosto y setiembre de 1999, a tal punto que fue inferior al mínimo en días de cielo claro cercanos al solsticio de invierno. En 1997 y 1998 se registraron reducciones en la irradiación eritemática, pero de menor valor relativo.
- El origen de estos aerosoles es principalmente la *intensa quema de biomasa en las regiones del Chaco y del Amazonas*, tal como lo permite comprobar el seguimiento con información provista por el TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) a bordo del satélite Earth Probe / NASA de la "pluma" de contaminación que avanzó desde el Amazonas hacia Paraguay y aún nor-este de Argentina, sur de Brasil, Uruguay y Atlántico Sur en el periodo comprendido entre mediados de agosto y mediados de setiembre de 1999.
- El *aerosol efectivo* derivado a través de la comparación de las mediciones con los resultados de cálculos de transferencia radiativa realizados con el algoritmo TUV lo comparamos con el derivado por el

TOMS (Aerosol Index), dando un comportamiento razonablemente similar. Además, su valor es del orden del obtenido en el experimento SCAR-B (Smoke, Clouds, Radiation – Brazil experiment)<sup>(10-13)</sup> que investigó en detalle el periodo de agosto a setiembre de 1995 de quema de biomasa en el Amazonas, principal fuente de los aerosoles estudiados en el presente trabajo.

- No es posible aplicar la relación entre el coeficiente de aerosoles  $\beta$  de la fórmula de Angström<sup>(7)</sup> y la visibilidad dada por McClatchey y Selby<sup>(8)</sup> en condiciones de alta concentración de aerosoles en la atmósfera por quema de biomasa, aún con visibilidades superiores a 5 km (el límite inferior de validez de esta relación). Esto se debe a que dicha relación no tiene en cuenta que el camino óptico de las radiaciones solares resulta sensiblemente mayor que el determinado simplemente a través de la visibilidad, debido a la alta concentración de partículas a grandes alturas, como queda evidenciado en las imágenes TOMS/NASA<sup>(3)</sup>.
- Existe una razonable correlación entre el AOT efectivo, determinado en el presente trabajo comparando mediciones de tierra y modelo TUV, con el índice de aerosoles derivado a través de datos satelitales TOMS/NASA.
- La comparación entre el Índice UV de riesgo solar pronosticado por la CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales/Argentina) y el medido con el biómetro YES muestra que en general en días normales de cielo claro, el primero está *sub-estimado en 1 punto y medio* y en días de intensa quema de biomasa, el error es superior, en varios puntos (unos 2.5). Esto se debe a que las estimaciones del índice UV de la CONAE se realizan empleando un modelo aproximado de transferencia radiativa. En una etapa posterior, se tratará de perfeccionar dicho índice. De todos modos, dado que ha sido diseñado para dar protección, es preferible que esté por exceso (como ocurre en periodo de quema) y no por defecto (como se observa fuera de este periodo).

#### AGRADECIMIENTOS

Descamos agradecer a Pablo Garcia, técnico del Observatorio Astronómico de Rosario por su apoyo computacional, a la Agencia Nacional de Promoción de la Ciencia y la Tecnología de Argentina y al CONICET por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo.

#### REFERENCIAS

- 1- UNEP (United Nations Environment Program) Report "Environmental effects of ozone depletion", 1998.
- 2- McKinlay A. F. y B. L. Diffey, "Human exposure to UV radiation: Risks and regulations". (Paschier W. F. y B. F. M. Bosnjakovic editores), Elsevier, Amsterdam, 83-87 (1987).
- 3- TOMS/NASA. Página Web <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

- 4- Madronich, S. Página Web <http://www.ucar.edu>
- 5- Blumthaler, M. y W. Ambach. Photochemistry and Photobiology, **48**, 85-88 (1988).
- 6- Prins, E. M., J. M. Feltz, W. P. Menzel y D. E. Ward. "An overview of GOES-8 diurnal fires and smoke results for SCAR-B and 1995 fire season in South America". J. Geophysical Research, **103**, D24, 31821 (1998).
- 7- Iqbal, M. "An introduction to solar radiation". Editorial Academic Press (1983).
- 8- McClatchey, R. A. y J. E. Selby, Air Force Cambridge Research Laboratories, AFCRL-72-0745, Environ. Res. Paper 427 (1927).
- 9- Blumthaler, M. Curso de Postgrado "Solar UV and its effect". Fac. de Cs. Exactas, Ing. y Agrimensura, UNRosario (2000).
- 10- Kaufmann, Y. J. "Smoke, clouds and radiation-Brazil (SCAR-B) experiment". J. Geophysical Research, **103**, D24, 31783 (1998).
- 11- Eck, T. F., B. Holbert, I. Slutsker y A. Setzer. "Measurements of irradiance attenuation and estimation of aerosol single scattering albedo for biomass burning aerosols in Amazonia". J. Geophysical Research, **103**, D24, 31865 (1998).
- 12- Gleason, J. F., N. C. Hsu y O. Torres. "Biomass burning smoke using backscattered ultraviolet radiation: SCAR-B and Brazilian smoke interannual variability". J. Geophysical Research, **103**, D24, 31969 (1998).
- 13- Trosnikov, I. V. y C. A. Nobre. "Estimation of aerosol transport from biomass burning areas during the SCAR-B experiment". J. Geophysical Research, **103**, D24, 32129 (1998).
- 14- Marraco, H. CONAE, comunicación privada.
- 15- CONAE, Página Web <http://www.conae.gov.ar>