

# MEDICION Y MODELIZACION DE LA RADIACION UVB SOLAR INCIDENTE SOBRE ROSARIO Y MAR DEL PLATA (ARGENTINA) EN PERIODO ESTIVAL

**Orlando M. Alfano**

*Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (CONICET-UNLitoral), Guemes 3450, 3000 Santa Fe, Argentina.*

**Enrique D. Albizzati**

*Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería Química (UNLitoral), S. del Estero 2654, 3000 Santa Fe, Argentina.*

**Rubén D. Placentini**

*Grupo de Energía Solar, IFIR (CONICET-UNRosario), Fac. de Cs. Exactas, Ing. y Agrim. (UNRosario), y Observatorio Astronómico de Rosario, C.C. 606, 2000 Rosario, Argentina.*

**Jorge O. Tocho**

*Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas (UNLa Plata) y Centro de Investigaciones Ópticas (CONICET), 1900 La Plata, Argentina.*

## RESUMEN

Se evalúan y analizan las radiaciones UVB solares en las ciudades de Rosario y Mar del Plata (Argentina), lugares típicos de la Pampa Húmeda y Litoral Marítimo Bonaerense, respectivamente. Se utiliza un instrumento construido en el CIOp (CONICET-CIC, La Plata), empleado para determinar el espesor de la capa de ozono atmosférico por comparación de las intensidades en las longitudes de onda de 305 nm y 315 nm. Las mediciones se comparan con los resultados obtenidos con un modelo teórico para días de cielo claro (Bird y Riordan, 1986), verificado experimentalmente en trabajos previos con mediciones realizadas en el rango UV del espectro. Se estudia especialmente la influencia de la capa de ozono y de la turbidez atmosférica, sobre el valor de la radiación solar UVB medida en las localizaciones geográficas mencionadas.

## INTRODUCCIÓN

Las radiaciones solares ultravioletas están distribuidas en forma irregular sobre la superficie terrestre y su intensidad depende de un gran número de factores, tales como la presencia de nubes, la composición de la atmósfera, la hora del día y la posición relativa del sol respecto del punto geográfico considerado. En el rango UVB (280-320 nm) la intensidad de la radiación solar extraterrestre disminuye al atravesar la atmósfera por el efecto combinado que producen la absorción del ozono, el "scattering" y la absorción de los aerosoles y el "scattering" Rayleigh. En especial, por debajo de 295 nm, la intensidad decrece sensiblemente en varios órdenes de magnitud.

En este trabajo se presentan mediciones de la radiación UVB solar, para las longitudes de onda  $305 \pm 4$  nm y  $315 \pm 4$  nm, realizadas en período estival en el Parque Urquiza de la ciudad de Rosario ( $32^\circ 55' S$ ,  $60^\circ 44' O$ ) y en la playa San Carlos de Mar del Plata ( $38^\circ S$ ,  $57^\circ 18' O$ ), lugares típicos de la Pampa Húmeda y Litoral Marítimo Bonaerense, respectivamente. El objetivo es estudiar fundamentalmente la relación existente entre las radiaciones UVB registradas en ambas localizaciones geográficas. Teniendo en cuenta las pequeñas diferencias en el espesor de la capa de ozono (inferior al 2,7%) y en la

presión atmosférica (menos del 1%), la mayor diferencia entre las irradiancias respectivas está originada por las distintas condiciones de la atmósfera, que particularmente inciden en el valor de la turbidez atmosférica.

El instrumento empleado para efectuar las mediciones fue construido en el CIOp (CONICET-CIC, La Plata), con el objetivo principal de la determinación del espesor de la capa de ozono atmosférico, por comparación de las intensidades en las dos longitudes de onda arriba indicadas. Posee un tubo colimador de  $10^\circ$  de apertura angular total, lo que permite medir en función del ángulo cenital ( $10^\circ$  a  $80^\circ$ ) las componentes directa y circumsolar, excluyendo la difusa restante. Según los fabricantes de los elementos que componen el instrumento, los sensores de UVB tienen una indeterminación del 15% y el filtro correspondiente de un 10%. Sin embargo, el equipo tiene una alta repetitividad en las mediciones en días de cielo claro y con atmósfera estable dentro del tiempo de observación, obteniéndose una dispersión máxima entre valores extremos de menos del 2%.

Los datos se comparan con los obtenidos utilizando el modelo de Bird y Riordan<sup>(1)</sup>, en días de cielo claro para las zonas geográficas citadas. En el modelo se introdujeron modificaciones para adecuarlo a la región del espectro analizada, considerando la radiación UV extraterrestre con un ancho de banda de  $2 \text{ nm}^{(2)}$ , y calculando el espesor de la capa de ozono según la fórmula de Piacentini<sup>(3)</sup>. Este modelo ha sido verificado previamente con mediciones efectuadas en el rango comprendido entre  $300 \text{ nm}$  y  $400 \text{ nm}$ , sobre superficie horizontal e inclinada y para distintos ángulos cenitales<sup>(4,5)</sup>. Se estima que, en base a la incertidumbre existente en los valores de los parámetros (en particular la turbidez atmosférica), las predicciones del modelo pueden tener un error máximo del 11% para el sensor de  $315 \text{ nm}$  y del 13% para el sensor de  $305 \text{ nm}$ .

## ESTIMACION DE LA IRRADIANCIA UVB ABSOLUTA

En la Figura 1 se representa en ordenadas la irradiancia  $I$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) obtenida con el modelo de Bird y Riordan<sup>(1)</sup>, y en abscisas la lectura del instrumento  $L_1$  en unidades arbitrarias (AU) para el sensor con longitud de onda centrada en  $315 \text{ nm}$ . Las mediciones abarcan ángulos cenitales entre  $12^\circ$  y  $80^\circ$ , realizadas en la ciudad de Rosario el día 8/12/93. Como el instrumento posee una apertura angular total de  $10^\circ$ , se estima que la medición correspondiente comprende la radiación solar directa y prácticamente toda la radiación circumsolar. La Figura 2 proporciona la misma información, pero para el sensor con longitud de onda centrada en  $305 \text{ nm}$  ( $L_2$ ).

Realizando un ajuste de los datos obtenidos con un polinomio de segundo grado, se puede estimar la radiación UVB solar en forma absoluta para cada región del espectro considerada. Se obtuvieron las siguientes funciones y coeficientes de correlación:

$$\text{Sensor UVB-315 nm: } I (\text{W}/\text{m}^2) = 5,018 \times 10^{-7} L_1^2 + 1,573 \times 10^{-3} L_1 - 1,806 \times 10^{-2}$$
$$R^2 = 0,9986$$

$$\text{Sensor UVB-305 nm: } I (\text{W}/\text{m}^2) = 1,215 \times 10^{-5} L_2^2 + 1,676 \times 10^{-3} L_2 - 7,082 \times 10^{-3}$$
$$R^2 = 0,9984$$

También se podrían presentar los resultados en forma relativa refiriendo, por ejemplo, las mediciones a un valor máximo medido para ese lugar. Esta manera de presentar

la información es bastante utilizada en la bibliografía, pero tiene el inconveniente de no producir resultados absolutos de la radiación medida; en general, disponer de valores absolutos de radiación resulta de importancia cuando se estudian procesos vinculados a la acción de la radiación sobre los seres vivos o sobre ciertos materiales sensibles expuestos a la acción del sol.

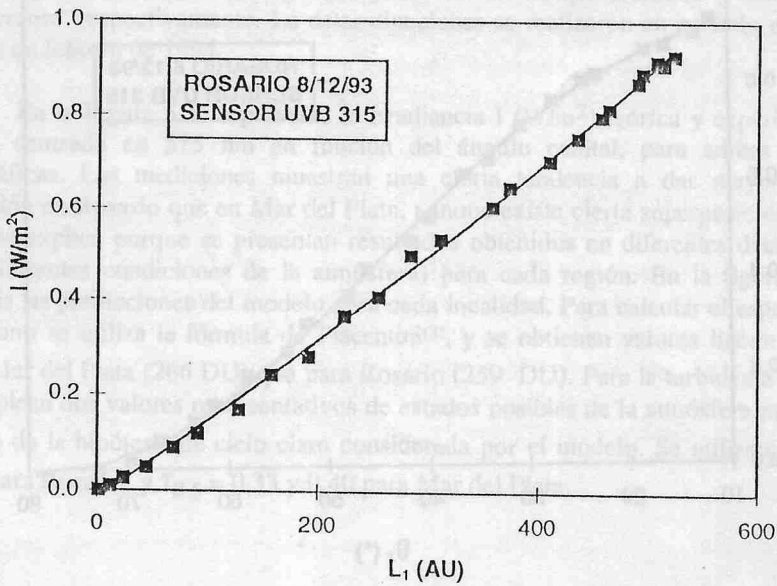


Figura 1: Radiación UVB solar para Rosario en función de la lectura del instrumento, para la banda de 315 nm. Mediciones realizadas (■). Ajuste de los resultados (—).

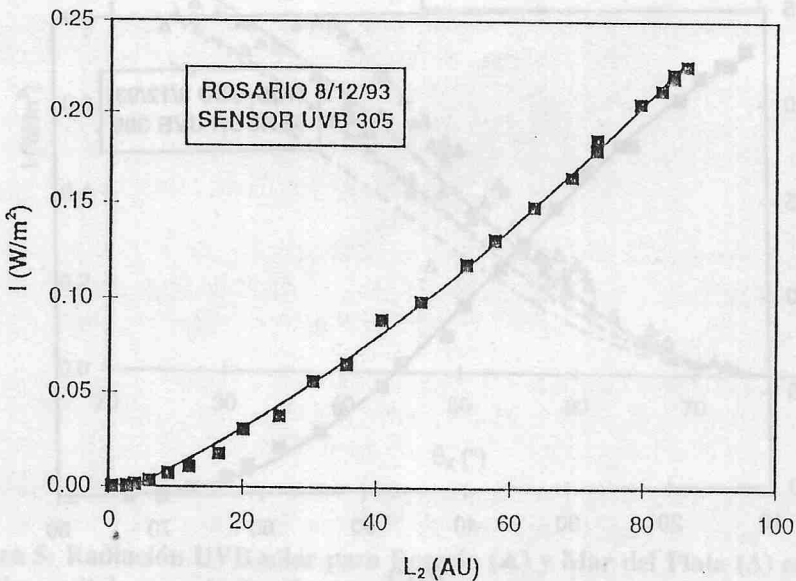


Figura 2: Radiación UVB solar para Rosario en función de la lectura del instrumento, para la banda de 305 nm. Mediciones realizadas (■). Ajuste de los resultados (—).

En las Figuras 3 y 4 se presentan los resultados de la irradiancia en función del ángulo cenital  $\theta_z$ (°), para las mediciones realizadas en Rosario el día 8/12/93. Notar que para el sensor de  $315\pm 4$  nm se obtienen irradiancias máximas de aproximadamente  $0,94$   $W/m^2$ ; en cambio, para la banda de  $305\pm 4$  nm, el valor máximo medido es de  $0,23$   $W/m^2$ .

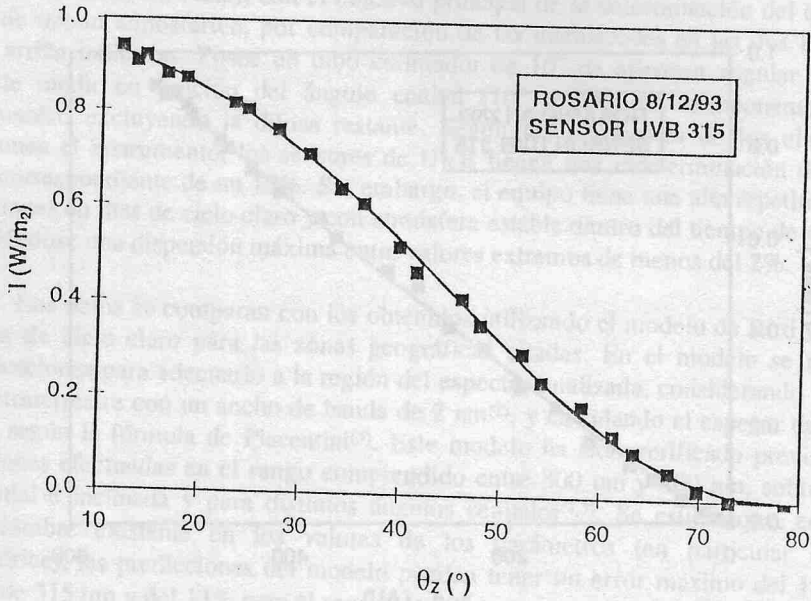


Figura 3: Radiación UVB solar vs ángulo cenital, para  $315\pm 4$  nm. Mediciones realizadas (■). Resultados obtenidos con el modelo (—).

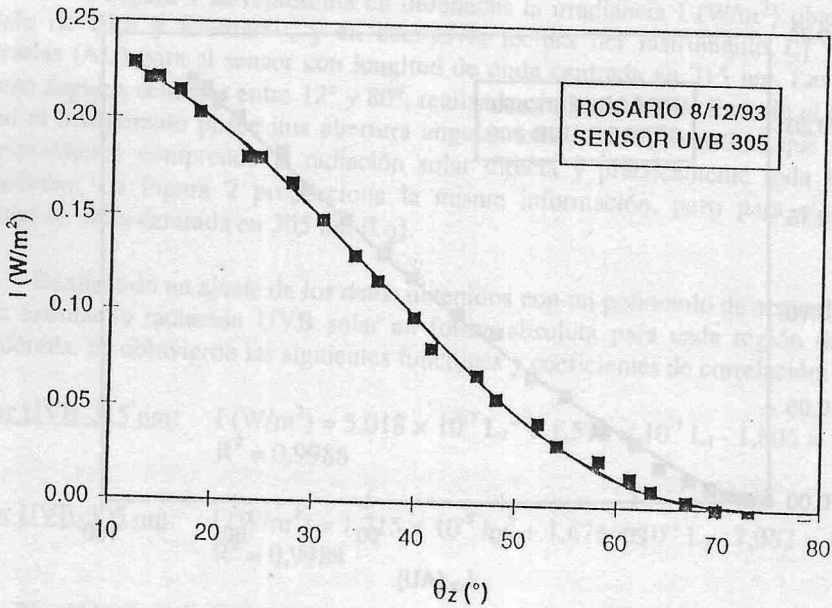


Figura 4: Radiación UVB solar vs ángulo cenital, para  $305\pm 4$  nm. Mediciones realizadas (■). Resultados obtenidos con el modelo (—).

## COMPARACIÓN DE RADIACIÓN UVB EN ROSARIO-MAR DEL PLATA

Con el fin de comparar los resultados de radiación solar UVB en distintos lugares del país con el instrumento descrito anteriormente, se efectuaron mediciones en el Parque Urquiza de la ciudad de Rosario (32° 55' S, 60° 44' O) y en la playa San Carlos de Mar del Plata (38° S, 57° 18' O), lugares típicos de la Pampa Húmeda y Litoral Marítimo Bonaerense, respectivamente. La determinaciones se realizaron en período estival, durante el mes de febrero de 1994.

En la Figura 5 se representa la irradiancia  $I$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) teórica y experimental para la banda centrada en 315 nm en función del ángulo cenital, para ambas localizaciones geográficas. Las mediciones muestran una cierta tendencia a dar mayores valores de radiación en Rosario que en Mar del Plata, aunque existe cierta superposición de los datos. Esto se explica porque se presentan resultados obtenidos en diferentes días (seguramente con diferentes condiciones de la atmósfera) para cada región. En la figura se presentan además las predicciones del modelo para cada localidad. Para calcular el espesor de la capa de ozono se utiliza la fórmula de Piacentini<sup>(3)</sup>, y se obtienen valores ligeramente mayores para Mar del Plata (266 DU) que para Rosario (259 DU). Para la turbidez a 0,5  $\mu\text{m}$  ( $\tau_{0,5}$ ), se emplean dos valores representativos de estados posibles de la atmósfera para cada lugar, dentro de la hipótesis de cielo claro considerada por el modelo. Se utilizan:  $\tau_{0,5} = 0,27$  y  $0,33$  para Rosario, y  $\tau_{0,5} = 0,33$  y  $0,40$  para Mar del Plata.

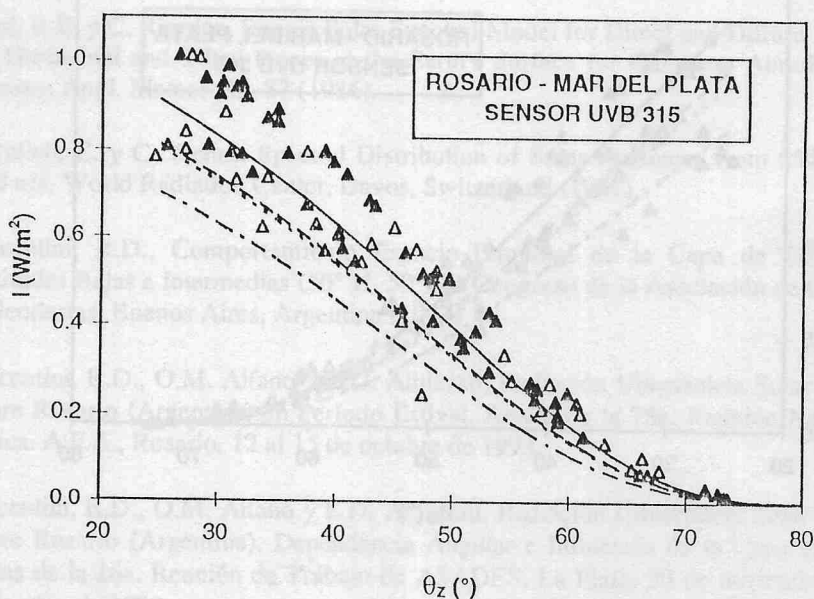


Figura 5: Radiación UVB solar para Rosario ( $\blacktriangle$ ) y Mar del Plata ( $\triangle$ ) en función del ángulo cenital, para la banda centrada en 315 nm. Resultados del modelo para Rosario con  $\tau_{0,5} = 0,27$  (—) y  $\tau_{0,5} = 0,33$  (- - -). Resultados del modelo para Mar del Plata con  $\tau_{0,5} = 0,33$  (- · - ·) y  $\tau_{0,5} = 0,40$  (- · - ·).

Comparando las predicciones teóricas del modelo para ambos lugares y para un mismo valor de turbidez ( $\tau_{0,5} = 0,33$ ), se concluye que el efecto del espesor de la capa de ozono para la banda centrada en 315 nm es mínimo; comparar en la Figura 5 las líneas de trazo largo (— —) con las de trazo corto (- - -). Las diferencias en los datos medidos experimentalmente, pueden explicarse por los distintos valores de turbidez que corresponden a cada lugar. Una zona como Mar del Plata presenta valores más elevados de turbidez que Rosario, por la presencia de partículas en suspensión originadas por la proximidad del mar.

En la Figura 6 se presentan resultados similares a los de la figura anterior, pero para la banda centrada en 305 nm. Al comparar los resultados obtenidos para Rosario con los de Mar del Plata, para un mismo valor de turbidez ( $\tau_{0,5} = 0,33$ ), se observa un efecto un poco mayor del espesor de la capa de ozono. Este resultado está de acuerdo con la absorción mucho más elevada que presenta el ozono en esta parte del espectro ( $305 \pm 4$  nm) que en la región anterior ( $315 \pm 4$  nm). Sin embargo, nuevamente se puede concluir que la diferencia detectada en las mediciones de radiación UVB en Rosario y Mar del Plata, es originada principalmente por la diferencia de turbidez existente en estas dos regiones geográficas.

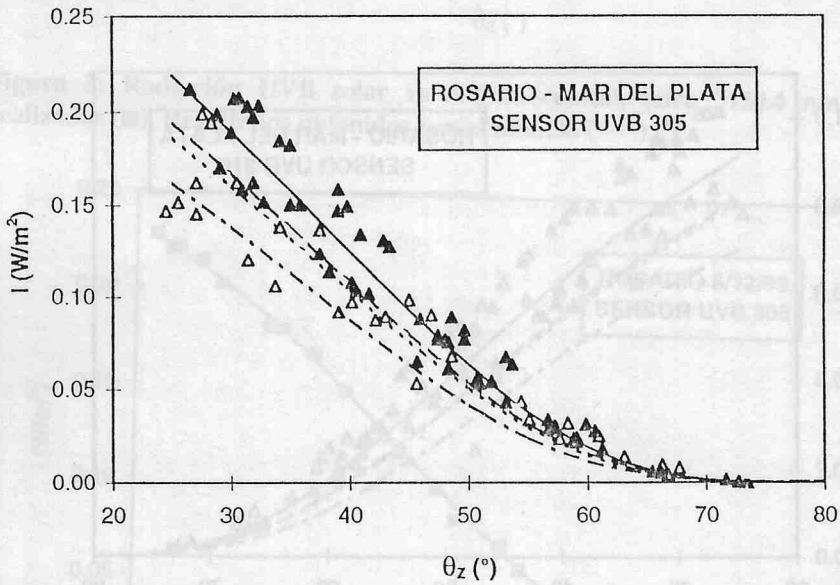


Figura 6: Radiación UVB solar para Rosario (▲) y Mar del Plata (△) en función del ángulo cenital, para la banda centrada en 305 nm. Resultados del modelo para Rosario con  $\tau_{0,5} = 0,27$  (— —) y  $\tau_{0,5} = 0,33$  (- - -). Resultados del modelo para Mar del Plata con  $\tau_{0,5} = 0,33$  (- - -) y  $\tau_{0,5} = 0,40$  (— · —).

## CONCLUSIONES

Se ha estimado la radiación solar UVB en forma absoluta, en las bandas centradas en las longitudes de onda de 305 nm y 315 nm. Posteriormente, se han obtenido los valores de radiación UVB para ambas bandas en función del ángulo cenital.

Al analizar la radiación solar UVB en las ciudades de Rosario y Mar del Plata, se verificó una significativa influencia de la turbidez atmosférica sobre los valores de la radiación medida para diferentes días y horas del día en período estival.

Las estimaciones de la radiación solar UVB absoluta, permiten evaluar los efectos de estas radiaciones sobre los seres vivos y sobre la degradación de materiales sensibles expuestos a la acción solar.

**Agradecimientos:** Los autores agradecen la colaboración del CONICET y de las Universidades Nacionales de Rosario, del Litoral y de La Plata, por sus contribuciones al presente trabajo de investigación.

## NOMENCLATURA

- I = irradiancia,  $W/m^2$ .  
L = lectura del instrumento, AU.  
 $R^2$  = coeficiente de correlación.  
 $\theta_z$  = ángulo cenital, rad.

## REFERENCIAS

1. Bird, R.E. y C. Riordan, Simple Solar Spectral Model for Direct and Diffuse Irradiance on Horizontal and Tilted Planes at the Earth's Surface for Cloudless Atmospheres. *J. Climate Appl. Meteor.* 25, 87 (1986).
2. Fröhlich, C. y C. Wehrli, Spectral Distribution of Solar Irradiance from 25000 nm to 250 nm. World Radiation Center, Davos, Switzerland (1981).
3. Piacentini, R.D., Comportamiento Espacio-Temporal de la Capa de Ozono para Latitudes Bajas e Intermedias ( $50^\circ$  N,  $50^\circ$  S). Congreso de la Asociación de Geofísicos y Geodestas, Buenos Aires, Argentina (1992).
4. Piacentini, R.D., O.M. Alfano y E.D. Albizzati, Radiación Ultravioleta Solar Incidente sobre Rosario (Argentina) en Período Estival. *Anales de la 78a. Reunión Nacional de Física. A.F.A., Rosario, 12 al 15 de octubre de 1993.*
5. Piacentini, R.D., O.M. Alfano y E.D. Albizzati, Radiación Ultravioleta Solar Incidente sobre Rosario (Argentina). Dependencia Angular e Influencia de la Capa de Ozono. *Actas de la 16a. Reunión de Trabajo de ASADES, La Plata, 30 de noviembre al 3 de diciembre de 1993.*