

RADIACIÓN ULTRAVIOLETA SOLAR INCIDENTE SOBRE ROSARIO (ARGENTINA) EN PERÍODO ESTIVAL

R. D. Piacentini,

Grupo de Energía Solar, Instituto de Física Rosario (CONICET-UNRosario), Facultad de Cs. Exactas, Ing. y Agrimensura (UNRosario) y Observatorio Astronómico de Rosario, C.C. 606, (2000) Rosario.

O. M. Alfano,

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

E. D. Albizzati

Facultad de Ingeniería Química (UNLitoral), Santiago del Estero 2654, (3000) Santa Fe.

Se presentan resultados de las mediciones de radiación ultravioleta (UV) solar que llegan a nivel de la superficie terrestre (300-400 nm) realizadas en Rosario, Argentina (32° 55' S, 60° 44' W), ciudad típica de la Pampa Húmeda y Litoral argentinos. Los datos se comparan con los obtenidos empleando el modelo de Bird y Riordan (1986), modificado con el reemplazo de la simulación de la capa de ozono realizada por Van Heuklon (1979), por la propuesta por Piacentini (1992), ésta última basada en datos satelitales (NASA). Se obtienen altos valores de la radiación UV solar en días de cielo claro y un buen acuerdo entre los datos y el modelo, en función del ángulo cenital solar.

I. INTRODUCCIÓN

Las radiaciones ultravioleta que provienen del sol están distribuidas irregularmente sobre la superficie terrestre y su intensidad depende de un gran número de factores, tal como la presencia de nubes, el estado de la atmósfera, la hora del día o posición del sol, la existencia de contaminantes en el aire y, especialmente, el espesor de la capa de ozono.

Debido a la capacidad de absorción del ozono atmosférico, sobre la superficie sólo se reciben radiaciones UV solares con una importante intensidad en la región del UVB (300nm - 320nm) y en la del UVA (320nm - 400nm). Se ha comprobado que la disminución de la cantidad de ozono verificado en los últimos diez años sobre nuestro planeta, ha provocado un aumento significativo en la radiación UVB, que es la más perjudicial para los seres vivos. La incidencia sobre la radiación UVA y la radiación UV total es menos importante.

En este trabajo se aplica un modelo para evaluar la distribución espectral de la radiación solar UV y total, sobre una superficie horizontal en días de cielo claro, incluyendo una expresión para calcular el espesor de la capa de ozono. Se presentan además los valores medidos de la radiación solar UV, y se comparan con los resultados alcanzados con el modelo propuesto.

II. EVALUACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR ULTRAVIOLETA

La evaluación de la radiación solar UV sobre la superficie terrestre, sobre un plano horizontal y para días de cielo claro, se realizó en base al modelo de Bird y Riordan (1986). Sobre este modelo se introdujeron modificaciones con el fin de adecuarlo a la región UV del espectro solar analizado y a las condiciones de medición experimental utilizadas para este trabajo.

La irradiancia global espectral sobre una superficie horizontal ($I_{G\lambda}$), se obtiene considerando la componente directa ($I_{d\lambda}$) y la componente difusa ($I_{s\lambda}$) de la radiación solar¹:

$$I_{G\lambda} = I_{d\lambda} \cos(\theta_z) + I_{s\lambda} \quad (1)$$

La irradiancia directa sobre la superficie terrestre, para una determinada longitud de onda, se calcula a partir de la irradiancia solar extraterrestre y a las transmitancias de la atmósfera que corresponden a: el scattering Rayleigh, el scattering y absorción de aerosol, y la absorción del ozono. La absorción del vapor de agua y de otros gases presentes en la atmósfera no es importante en la región del espectro considerada.

La irradiancia difusa sobre una superficie horizontal, puede evaluarse considerando las tres componentes siguientes¹: el scattering Rayleigh, el scattering de aerosol, y las múltiples reflexiones entre el suelo y el aire. Cada una de estas componentes también puede obtenerse teniendo en cuenta la radiación solar extraterrestre y distintas funciones de transmitancia de la atmósfera (de absorción y scattering).

En este trabajo se introdujeron tres modificaciones al modelo original descrito. En primer lugar se utilizó el modelo de Piacentini² para predecir el espesor de la capa de ozono, en reemplazo del modelo propuesto por Van Heuklon³. El modelo de Piacentini (1992), elaborado en base a datos actualizados aportados por mediciones satelitales, tiene en cuenta la latitud del lugar (ℓ), el mes del año (t), y la reducción de la capa de ozono para el año considerado (t^*). Las ecuaciones que corresponden a este modelo, en unidades Dobson (DU), son las siguientes²:

$$DU_H = \overline{DU}_H + \Delta_H(\ell) \text{Sen}[\alpha_H(\ell, t)] \quad (2)$$

$$\overline{DU}_H = \overline{DU}_H^*(\ell) [1 - \delta_{O_3}(t^* - 1982)] \quad (3)$$

donde Δ_H y \overline{DU}_H^* pueden obtenerse en función de la latitud del lugar, α_H en función de la latitud y el mes del año, y δ_{O_3} es una constante conocida.

La segunda modificación consistió en utilizar la irradiancia solar UV extraterrestre, a la distancia media sol-tierra, propuesta por Frohlich y Wehrli⁴, con valores promediados en un estrecho ancho de banda de 2 nm. Esto permitió obtener un mayor detalle en las predicciones espectrales del modelo, particularmente al analizar el efecto del scattering y de la absorción del ozono, para distintos valores de la masa de aire y diferentes estados de la atmósfera.

Finalmente, se introdujo una tercera modificación al modelo para corregir el efecto del horizonte sobre la radiación difusa. Resulta prácticamente imposible efectuar mediciones de la radiación solar en lugares donde la componente difusa corresponda a la semiesfera completa del cielo (ángulo de 2π). A partir de relaciones geométricas conocidas se obtuvo un factor de corrección para la radiación difusa, en función del ángulo promedio entre el plano horizontal y la altura libre sobre el horizonte.

Las mediciones experimentales fueron obtenidas con el UV-meter J-221 montado sobre una plataforma horizontal.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Fig. 1 se presentan las predicciones del modelo de la distribución espectral de la Radiación Solar Ultravioleta en la ciudad de Rosario, para el día 01/02/93. Se presentan resultados de la radiación extraterrestre para ese día (Ext) y, en forma paramétrica, de la radiación solar UV espectral para distintos ángulos cenitales.

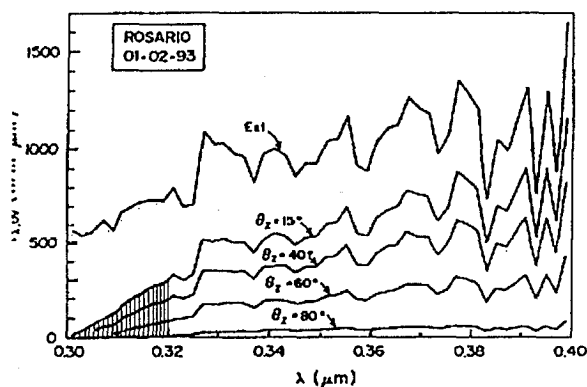


Fig. 1: Distribución espectral de la Radiación Solar UV para distintos ángulos cenitales.

Para una mejor diferenciación de la zona correspondiente a la radiación UVB y UVA, en la figura se ha sombreado el intervalo correspondiente a la primera.

El espectro de referencia extraterrestre que se muestra en la figura fue obtenido de Frohlich y Wehrli (1981) para una distancia media sol-tierra, multiplicado por el factor de corrección por variación de esta distancia para el día analizado. La incorporación de este espectro extraterrestre, con valores promediados en un estrecho ancho de banda (2 nm), permite observar con gran detalle el efecto provocado por la atmósfera sobre la radiación ultravioleta, para distintas masas de aire.

En la Fig. 2 se representan los resultados computacionales de la Radiación Solar Total (300nm - 4000nm), la Ultravioleta Global (300nm - 400nm) y la Ultravioleta B (300nm - 320nm), en función de la masa de aire atmosférica relativa (M). Las predicciones del modelo se realizaron para un día de cielo claro (01/02/93), en la ciudad de Rosario. Notar que en ordenadas se utilizó una escala logarítmica y que, además, cada curva cuenta con un factor de escala para poder representar simultáneamente los tres resultados mencionados.

La figura permite apreciar rápidamente el orden de magnitud que corresponde a cada rango de la radiación solar estudiada. Es decir, para una masa de aire aproximadamente igual a 1, la Radiación Solar Total es del orden de 1000 W/m^2 , la UV global del orden de 50 W/m^2 , y la UVB del orden de 3 W/m^2 . Por otra parte, la figura muestra el decaimiento de las tres magnitudes analizadas, en función de la masa de aire M (o bien del correspondiente ángulo cenital). Se observa que, a medida que la masa de aire aumenta, la Radiación Solar UVB cae mucho más rápidamente que las restantes debido principalmente al importante efecto de absorción de la radiación provocado por la capa de ozono en esa región del espectro.

Las Figs. 3, 4 y 5 representan la Irradiancia Solar UV (300nm - 400nm) en función del ángulo cenital solar, para la ciudad de Rosario durante los días 01/02/93, 09/03/93 y 27/05/93, respectivamente. Se muestran los resultados experimentales (Δ) y las predicciones del modelo para la Irradiancia Global (—), la componente directa (— — —), y la componente difusa (-----). Se representan además las predicciones del modelo para la Irradiancia Global UV corregida por el efecto del horizonte (— — — — —).

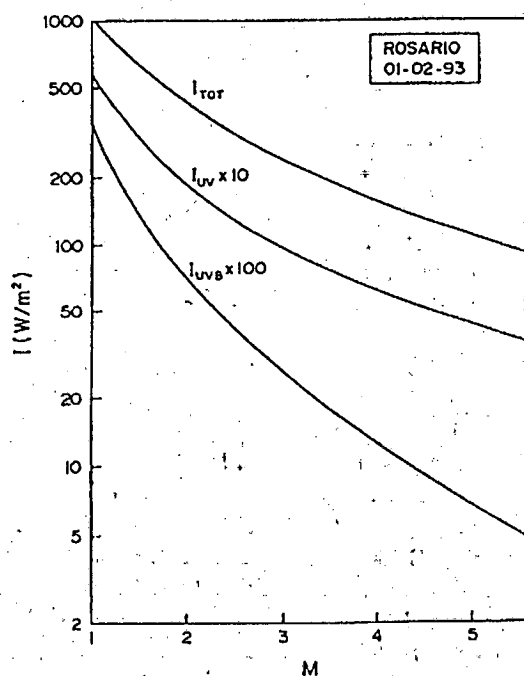


Fig. 2: Radiación Solar Total, UV Global y UVB, en función de la masa de aire atmosférica (M).

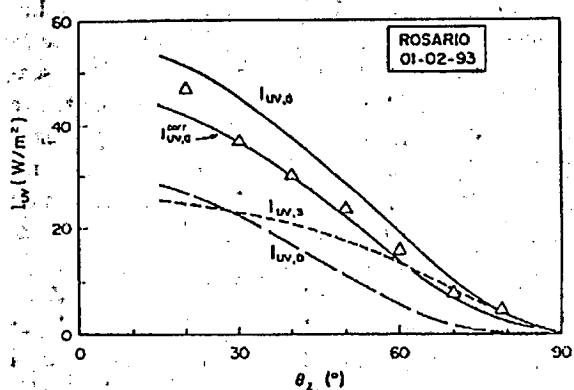


Fig. 3: Radiación Solar Ultravioleta para Rosario (01/02/93) en función del ángulo cenital.

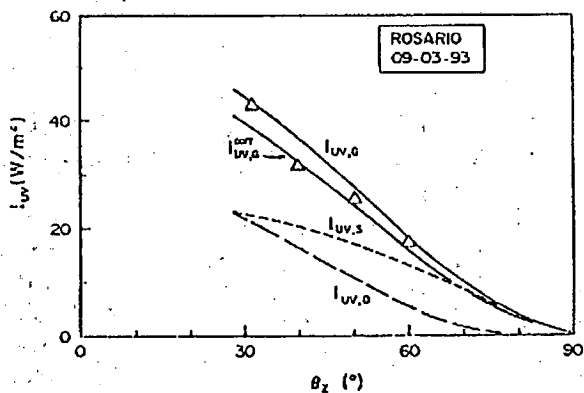


Fig. 4: Radiación Solar Ultravioleta para Rosario (09/03/93) en función del ángulo cenital.

Se observa que en el rango UV de la radiación solar, la componente solar difusa supera a la componente directa para ángulos cenitales mayores de 30° . Es decir que, solamente para determinados períodos del año próximos al solsticio de verano y, en horarios cercanos al mediodía solar, la componente solar directa es mayor que la componente difusa.

Finalmente, se debe resaltar la buena concordancia entre los resultados del modelo y las medi-

ciones experimentales; el error máximo encontrado en este estudio no supera el 20%. Se observa también que las predicciones de la radiación UV global y UV global corregida, constituyen verdaderas cotas máximas y mínimas, respectivamente, y que los resultados experimentales se ubican dentro de la región comprendida por estas dos curvas límites.

En conclusión, estos resultados son de importancia para cuantificar la influencia (generalmente degradadora de propiedades físicas y químicas) de las radiaciones ultravioletas sobre distintas sustancias (ópticas, orgánicas, biológicas, etc.).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de las siguientes Instituciones: CONICET, Universidad Nacional de Rosario, Universidad Nacional del Litoral y Fundación Pablo Cassará, por sus contribuciones al presente trabajo de investigación.

REFERENCIAS

1. Bird, R.E. y C. Riordan, *J. Climate Appl. Meteor.* **25**, 87 (1986).
2. Piacentini, R.D., Congreso de la Asociación de Geofísicos y Geodestas, Buenos Aires, Argentina (1992).

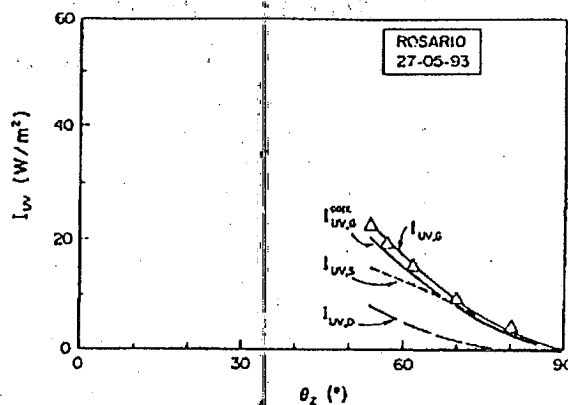


Fig. 5. Radiación Solar Ultravioleta para Rosario (27/05/93) en función del ángulo cenital.

3. Van Heuklon, T.K., *Solar Energy* **22**, 63 (1979).
4. Fröhlich, C. y C. Wehrlí, World Radiation Center, Davos, Switzerland (1981).