ASADES

Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente
Vol. 8, Nº 2, 2004. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184

INDICE UV DE RIESGO SOLAR Y SU RELACION CON LA IRRADIANCIA GLOBAL EN ROSARIO Y SU REGION

Salum G M (1, 2) y Piacentini R D (1, 3)

(1) Instituto de Física Rosario (CONICET – Universidad Nacional de Rosario), 27 de Febrero 210 bis, 2000 Rosario, Argentina, (ruben@ifir.edu.ar)
(2) Facultad de Ingeniería/Universidad Nacional de Entre Ríos, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina
(3) Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura/Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina

RESUMEN

En este trabajo se presenta una función relación entre la irradiancia solar de acción biológica eritémica medida en Rosario con el instrumento YES de la red del Servicio Meteorológico Nacional y la irradiancia solar global medida con el solarímetro Kipp & Zonen, en días de cielo claro en el período 1998-2002. Esta relación muestra el efecto de la mayor atenuación de la radiación UV en el periodo otoño-invierno que la radiación global y el desfasaje en las posiciones de los máximos y mínimos, producido por el diferente comportamiento temporal del ozono atmosférico respecto de la variación del ángulo de elevación solar. Los demás días de cielo nublado se obtienen aplicando coeficientes que tienen en cuenta la atenuación de la radiación incidente. El índice UV de riesgo solar se determina a partir de los datos de irradiancia eritémica solar derivados, multiplicándolos por una constante de acuerdo a la convención internacionalmente aceptada, para llevar este indicador al rango de números comprendidos entre 1 y 10 o más.

PALABRAS CLAVE

Indice UV– irradiancia – solar – ultravioleta – global – Rosario

INTRODUCCION

La radiación solar ultravioleta posee acción biológica sobre un gran número de componentes del ecosistema en general, la cual es objeto de intensa actividad de investigación (ver por ejemplo UNEP, 2003 y cientos de referencias incluidas en este Informe). Esta acción está caracterizada por la *efectividad espectral* correspondiente. En particular, la efectividad espectral de acción eritémica (enrojecimiento de la piel) es empleada internacionalmente para evaluar el riesgo de exposición al Sol de personas expuestas al exterior (WHO, 2002; UNEP, 2003; Long, 2003). Existen instrumentos, usualmente llamados *biómetros,* que miden la irradiancia solar ultravioleta reducida por la interposición de un filtro, que trata de representar la función de peso de acción biológica eritémica propuesta por McKinlay y Diffey (1987). En la Argentina, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) dispone de 9 de ellos instalados desde el extremo norte del país (La Quiaca) hasta la Base Antártica Argentina Marambio, los que han sido aportados por la Organización Meteorológica Mundial. Uno de estos biómetros (Marca YES, modelo UVB1) está ubicado en el Observatorio Astronómico de Rosario (32.96º S, 60.62º W, 25 m snm) y está supervisado por el Grupo de Energía Solar del Instituto de Física Rosario. Ha sido periódicamente calibrado en las intercomparaciones regionales llevadas a cabo "in situ" con el patrón austríaco de la Universidad de Innsbruck en 1999 y en la Estación Villa Ortúzar del SMN en el 2003. Las mediciones de estos instrumentos (en W/m^2) se transforman en un *Indice UV* de riesgo solar, al multiplicarlas por el factor 40 para llevar los valores a un entorno de entre 0 y 10+, según lo propuesto por Canadá. Sin embargo, es de destacar que en Argentina, se han registrado valores extremos de más de 20 en el desierto intertropical de altura de la Puna de Atacama, donde se dan todas las condiciones para que ello ocurra (capa de ozono naturalmente baja en espesor; reducción de atenuación por altura y gran visibilidad debida a la baja concentración de aerosoles; elevación solar al mediodía muy alta durante prácticamente todo el año) (Cede et al, 2002a; UNEP, 2003). Por otra parte, la irradiancia solar global puede llegar, en condiciones extremas de cielo con cubierta de nubes fraccionadas (tipo cúmulos), a tomar valores que *excedan la constante solar* (Piacentini et al, 2003).

No es frecuente disponer de estos equipos, por su relativo alto costo y complejidad de calibración. Por otra parte, es factible disponer de un solarímetro (medidor de la irradiancia solar global) a un costo relativamente menor y con posibilidad de su control periódico en el propio país, tales como los instalados en la Red Solarimétrica del SMN (Grossi Gallegos, 1997). En el mismo Observatorio Astronómico de Rosario, está emplazado un solarímetro Kipp & Zonen, modelo KZ-CM-5. Por consiguiente, es factible realizar un estudio detallado para tratar de encontrar una posible correlación entre las mediciones efectuadas por dichos instrumentos, tal como se realizó en el presente trabajo y así determinar el riesgo solar a través de datos de irradiancia global.

RESULTADOS

La idea básica del presente trabajo consiste en encontrar una función que relacione las irradiancias solares global (290 nm – 4000 nm) y eritémica (concentrada esencialmente en el rango UV entre 290 nm y 400 nm), mediante las mediciones realizadas en un dado lugar geográfico con solarímetro y biómetro. Tal como se mencionó en la Introducción, en el Observatorio de Rosario se encuentran ubicados un medidor de radiación global Kipp & Zonen y un biómetro marca YES, ambos periódicamente calibrados en San Miguel/Red Solarimétrica del SMN el primero y en la Estación Villa Ortúzar del SMN el segundo.

En la figura 1 presentamos resultados de mediciones de irradiancia solar global diarios obtenidos en la ciudad de Rosario, para días de cielo claro de los años 1998 a 2002, al mediodía solar, que es el momento que se considera para dar el pronóstico diario del Indice UV que se pretende determinar indirectamente. El comportamiento promedio está dado por la curva media de los datos enmarcada por las curvas de dispersión estándar. Esta curva central permite además determinar los valores máximo promedio para el periodo cercano al solsticio de verano de 1023 W/m^2 y mínimo promedio alrededor del solsticio de invierno de 493 W/m^2, lo que da un factor de variación verano–invierno de 2.08.

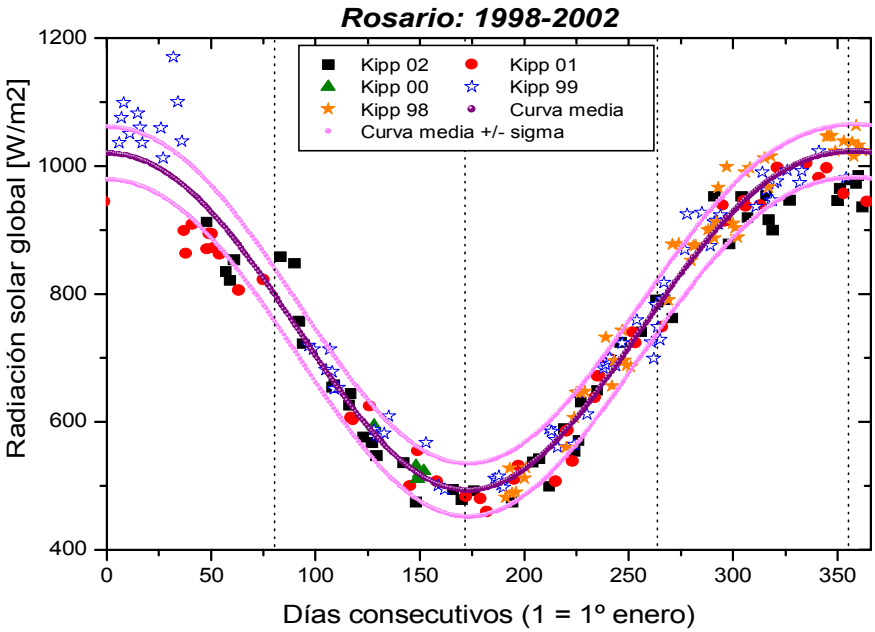

Figura 1. Irradiancia solar global medida con el solarímetro Kipp & Zonen en la ciudad de Rosario, Argentina para días de cielo claro, al mediodía solar, durante los años 1998 a 2002. Se muestra la curva media de los datos y las curvas de dispersión estándar (media ± sigma).

En la figura 2 representamos los resultados de irradiancia solar eritémica obtenidos con el biómetro YES para el mismo lugar geográfico y período de tiempo. Los valores extremos son de 0.319 W/m^2, con el máximo corrido hacia el comienzo de enero y de 0.064 W/m^2 con el mínimo desplazado hacia el comienzo de julio, siendo el factor de variación verano–invierno de 4.98. Este corrimiento respecto de los solsticios, es producido por el hecho de que la variación del ozono a lo largo del año no sigue el ciclo solar, ya que su mínimo se produce hacia el equinoccio de otoño y el máximo hacia el equinoccio de primavera.

Esta asimetría de la curva media de la irradiancia solar eritémica, produce un corrimiento en la relación entre esta irradiancia y la global, tal como lo observamos en la figura 3. Es interesante señalar que la consideración de *sólo días de cielo claro* (para los cuales se ha desarrollado la presente propuesta), permitió reducir significativamente las oscilaciones que se hubieran producido en esta función si se hubieran considerado los días de cielo nublado.

La función *f* de grado 8 correspondiente a la curva media de la figura 3 es la siguiente:

$$f = 2.14036E^{-4} + 2.17965E^{-6}\, d - 4.33263E^{-8}\, d^2 + 7.56628E^{-10}\, d^3 - 6.85715E^{-12}\, d^4 + 3.07378E^{-14}\, d^5 - 7.14027E^{-17} d^6 + 8.30993E^{-20}\, d^7 - 3.8469E^{-23}\, d^8$$

con un buen factor $R^2 = 0.94$ y un $P < 0.0001$, siendo *d* los días consecutivos del año.

Con esta función, que relaciona irradiancia solar eritémica con la global y disponiendo de medidores de radiación solar global como los de la Red Solarimétrica, es posible determinar el riesgo solar en lugares geográficos de características similares a las de Rosario, como la Pampa Húmeda y Mesopotamia Argentinas, en los lugares donde no se disponga de biómetros. Es de señalar que los días de cielo nublado se obtienen aplicando los coeficientes de atenuación a la función *f* establecidos por Cede (2001).

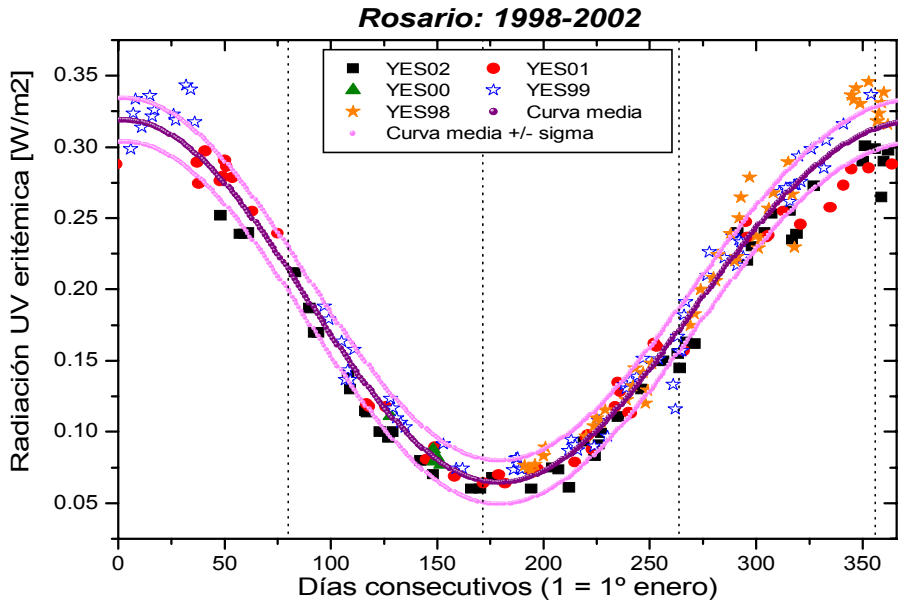

Figura 2. Irradiancia solar UV eritémica medida con el biómetro YES en la ciudad de Rosario, para días de cielo claro, al mediodía solar, durante los años 1998 a 2002. Se muestra la curva media de los datos y las curvas de dispersión estándar .

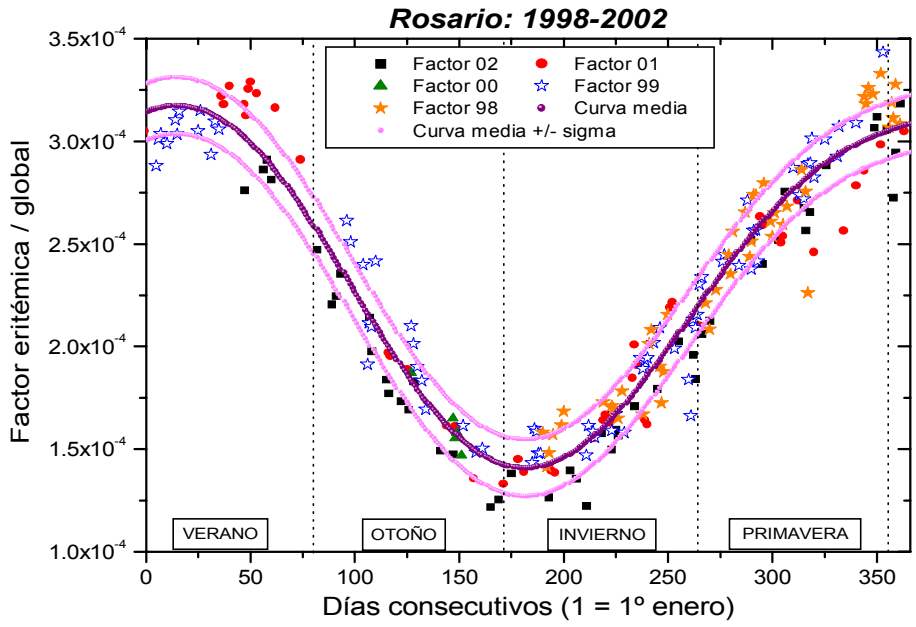

Figura 3. Función relación entre las irradiancias solares eritémica y global derivada de los datos de las figuras 1 y 2, para la ciudad de Rosario, en días de cielo claro durante los años 1998 a 2002. Se muestra la curva media de los datos y las curvas de dispersión estándar.

Otro tema a señalar es que las fluctuaciones de la irradiancia eritémica (y por consiguiente del índice UV con el cual está relacionado) se deben en mayor medida a los cambios en el espesor de la capa de ozono por fenómenos naturales y en menor medida a la variación de la columna total de aerosoles y a la reflectividad del suelo (Cede, 2001). Así, cada porciento de reducción/aumento de esta capa, se traduce en un 1.1-1.2 % de aumento/reducción de la irradiancia eritémica (Madronich et al, 1994; Herman et al, 2000). Es de señalar que en los últimos años dicha capa ha reducido su deterioro en latitudes medias del Hemisferio Sur (donde se encuentra ubicada Rosario y la región adyacente) teniendo en promedio un comportamiento aproximadamente constante (WMO, 2002). Esto permite realizar un promedio entre los distintos datos a lo largo del año, sin necesidad de extraer la tendencia, como en el caso de datos anteriores al periodo considerado, ya que la capa de ozono mostraba un decrecimiento importante promedio de alrededor del 3% por década a las latitudes consideradas (WMO, 1999). Por consiguiente, es posible extender el uso de la función que relaciona ambas irradiancias hacia el futuro por varios años, dado que es de esperar que el espesor promedio de la capa se mantendrá aproximadamente constante (Crinó, 2004). Evidentemente, grandes fluctuaciones como las producidas durante el evento agujero de ozono que se desarrolla entre julio y diciembre en la zona austral y llega algunos días a incidir sobre la región patagónica del continente americano (WMO, 1998)

o las grandes disminuciones del espesor denominadas *mini-agujeros,* como la que se produjo en el cono suramericano en abril-mayo de 1997 (Piacentini y Cede, 1997), no son descriptas por la función correlación propuesta.

Eventualmente y para tener un margen de seguridad, un modo de dar un *índice UV* que brinde mayor protección a la población, es considerar como función a la curva superior de la figura 3, obtenida sumando al valor promedio *una dispersión estándar.*

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones derivadas del presente trabajo son:

- La obtención de las irradiancias promedio solares eritémica y global para días de cielo claro en Rosario, Argentina en el período 1998-2002, cuando la capa de ozono permaneció aproximadamente constante durante todo el período. Además se obtuvieron los factores de variación entre valores extremos.
- La posibilidad de determinar el índice UV a partir de la curva de correlación entre ambas irradiancias y de datos de mediciones realizadas con solarímetros.

Una extensión del presente trabajo a otras regiones del país y de países vecinos (en particular Brasil) con características climáticas y de radiación solar diferentes será realizada en el futuro.

ABSTRACT

In this work we present a relation function between the solar irradiance of the erythemal biological action measured in clear sky days at Rosario, Argentina with the YES instrument of the Servicio Meteorológico Nacional UV network and the global solar irradiance measured with a Kipp & Zonen solarmeter. This relation shows the effect of the relatively large attenuation in the UV radiation in the autumn-winter period and the change in phase in the positions of the maxima and minima, produced by the different temporal behavior of the atmospheric ozone with respect to the solar elevation angle variation. For cloudy days, we consider appropriate coefficients that take into account the attenuation of the incident radiation. We determined the UV index for solar risk forecast, from the erythemal irradiance data, multiplied by a constant value, following the internationally accepted convention, in order to bring this indicator to the range 1 to 10+.

KEYWORDS

UV Index – irradiance – solar – ultraviolet – global – Rosario - Argentina

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo brindado al presente trabajo por las siguientes instituciones: ANPCYT (Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica), Proyecto CAPES/Fundación ANTORCHAS y JICA/Embajada de Japón. También a José Pomar y Pablo García por el apoyo técnico.

REFERENCIAS

Cede A, Tesis doctoral Universidad de Innsbruck, Austria, 2001.

Cede A, Luccini E, Nuñez L , Piacentini R D and Blumthaler M. "Monitoring of erythemal irradiance in the Argentina Ultraviolet Network". *Journal Geophysical Research,* 107, D13, 2002a (DOI: 2002/2001JD001206).

Cede A, Luccini E, Piacentini R D, Nuñez L and Blumthaler M. "Calibration and uncertainty estimation of erythemal radiometers in the Argentina Ultraviolet Network". *Applied Optics*, 41, 6341, 2002b.

Cede A, Luccini E, Piacentini R D, Nuñez L and Blumthaler M. "Effects of clouds on erythemal and total irradiance as derived from data of the Argentine Network", *Geophysical Research Letters,* 29,76-1 76-4, 2002c.

Crinó E. Tesis doctoral. Presentada en la Universidad Nacional de San Luis, 2004.

Grossi Gallegos, H. Tesis Doctoral, Universidad de Luján, 1997.

Herman J, Ziemke J, Piacentini R D, E. Celarier y Larko D. "Ultraviolet exposure (UV-B) perturbations caused by the quasi-biennial oscillations (QBO) in ozone". *Journal Geophysical Research* (JGR), 105, D23, 29189, 2000.

Long, C. "UV Index Forecasting Practices around the World", SPARC Newsletter 21, June 2003.

Madronich S, McKenzie R L, Caldwell M M y Björn L O. "Changes in ultraviolet radiation reaching the earth's surface". Capítulo 1 del Informe UNEP Environmental Effects of Ozone Depletion: 1994 Assessment, 1994.

McKinlay A F y Diffey B L. "A reference action spectrum for ultra-violet induced erythema in human skin". En el libro Human Exposure to Ultraviolet Radiation: Risks and Regulations. W.F. Passchier and B.F.M. Bosnjakovich, eds. International Congress Series. 83-87, 1987.

Piacentini R D y Cede A. "Análisis de la reducción significativa de la capa de ozono sobre el cono suramericano durante abril-mayo de 1997", *Energías Renovables y Medio Ambiente,* 3, 1, 1997.

Piacentini R D, Cede A and Bárcena H. "Extreme solar global and UV irradiances due to cloud effect measured near the summer solstice at the high altitude desertic plateau Puna of Atacama". *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, 65, 727-731, 2003.

UNEP Report "Environmental effects of ozone depletion and its interaction with climate change", 2003.

WHO (World Health Organization) "Global solar UV index. A practical guide". Publicado por World Health Organization, 2002.

WMO Report "Scientific assessment of ozone depletion: 1998". Publicado por World Meteorological Organization, 1999.