

VALORES EXTREMOS DE RADIACIÓN SOLAR TOTAL PRODUCIDOS POR EFECTO DE NUBES, EN RECIFE, BRASIL.

G.M. Salum¹, C. Tiba², N. Fraidenraich² y R.D. Piacentini^{3,4}

¹Regional Concepción del Uruguay, Universidad Tecnológica Nacional

²Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia, Universidade Federal de Pernambuco

³Instituto de Física Rosario (CONICET-Universidad Nacional de Rosario)

⁴Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario

Tel.: 0341-4472824 (int30) – e-mail: gmsalum@hotmail.com

RESUMEN: En el presente trabajo, analizamos en detalle valores extremos de irradiancia solar total (rangos UV, visible e IR) que sobrepasan ampliamente (más de un 25%) los que se registran en condiciones de cielo claro, los cuales son originados por reflexión en borde de nubes o por dispersión múltiple de fotones en el plano nuboso. En particular, consideramos el lugar geográfico de Recife, ciudad cercana al ecuador, en la costa Noreste de Brasil. Hemos investigado los cortos períodos de tiempo de días en los cuales se dan condiciones apropiadas de cubierta nubosa (mayor al 50% y menor al 80%, de modo que pueda aparecer el Sol a través de las zonas internubes), produciendo un valor de irradiancia que supera la Constante Solar corregida para el día considerado. Obtenemos la irradiación en dichos períodos, respecto del valor para cielo claro, el intervalo de tiempo total en el que se producen estos eventos naturales y el porcentaje relativo respecto de las horas diarias. Los resultados muestran que estas dosis de radiación total, pueden ser significativas en sus efectos. En especial, deben tenerse en cuenta al decidir sobre la compra o construcción de instrumentos medidores de radiación solar total o espectral o en el análisis de la correlación entre estas radiaciones y sistemas biológicos.

Palabras clave: radiación total, valores extremos, nubes, Recife.

INTRODUCCIÓN

En trabajos anteriores, Piacentini et al. (2003, 2010) demostraron que en la zona intertropical, tanto del desierto de altura Puna de Atacama, como de la región de nivel del mar de Recife, Brasil, se registran intensidades extremas de radiación solar total (rangos UV, visible e IR) que pueden llegar a superar la Constante Solar (irradiancia extraterrestre incidente en el plano normal al eje Sol – Tierra), corregida por la variación temporal de la distancia Sol – Tierra, para el día considerado.



Figura 1. Fotografía de un día típico de cielo cubierto con nubes cúmulo fraccionadas, en Recife, Brasil.

Valores record de 1528 W/m^2 fueron registrados en el Cerro Tres Cruces (3900 m snm) en diciembre de 1997 y de 1477 W/m^2 en la ciudad de Recife, en la costa Nor-Este de Brasil ($8,05^\circ \text{ S}$, $34,90^\circ \text{ W}$, 4 m s.n.m.) el día 28 de marzo de 2008. El principal responsable de este aumento, además de la posición geográfica cercana al Ecuador, es el incremento en la irradiancia producido por las nubes: reflexión en sus bordes y dispersión múltiple en el plano nuboso. Una foto de un día característico del cielo de Recife, está dada en la figura 1, mostrando gran cantidad de nubes cúmulo fraccionadas con huecos entre las mismas. Es justamente a través de estos huecos que se produce el efecto analizado en este trabajo, cuando el Sol aparece y su componente directa es de importancia.

En el presente trabajo presentamos un análisis detallado de la *irradiancia solar total (integral temporal de la irradiancia solar total)* en el intervalo de tiempo en el que se produce el efecto antes consignado, de aumento por efecto de nubes. Algunos datos ya obtenidos (Piacentini et al, 2010), que muestran la importancia del fenómeno analizado por la muy alta frecuencia de aparición de nubes cúmulo en la zona intertropical a nivel del mar analizada de Recife, son los siguientes: a) segundo valor extremo de irradiancia solar total (que le sigue en valor al anteriormente consignado de 1477 W/m^2) = 1464 W/m^2 , b) porcentaje de días con valores extremos que superan la Constante Solar Corregida = 3,4%, en el período Febrero 2008 a Enero 2009.

RESULTADOS

Los datos de la irradiancia solar a lo largo de las horas del día, fueron obtenidos con el radiómetro Eppley PSP (WMO radiómetro de Primera Clase, Número de Serie: 34464F3, certificado de calibración trazable a la Referencia de Radiación Mundial emitida por el Laboratorio Eppley, el 7 de Julio de 2006, de acuerdo al Número SO: 60744) instalado en el Campus de la Universidad Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.

En la figura 2, representamos la variación a lo largo de las horas del día 10 de diciembre de 2008, de la irradiancia solar. La presencia de nubes fragmentadas, tipo cúmulo, muy común en la región costera analizada, produjeron la fluctuación rápida de la irradiancia desde alrededor de las 7:00 de la mañana (UT - 3) hasta las 16:00 de la tarde. Es de señalar que en esa región intertropical el Sol sale temprano, cerca de las 5:00 y se pone también temprano, unas 12 horas después (ver figura 2). Un detalle que muestra el buen acuerdo entre los resultados del Modelo y las mediciones, es el hecho de que las curvas correspondientes están muy próximas entre si, luego de la hora 16:00 y hasta el final del día.

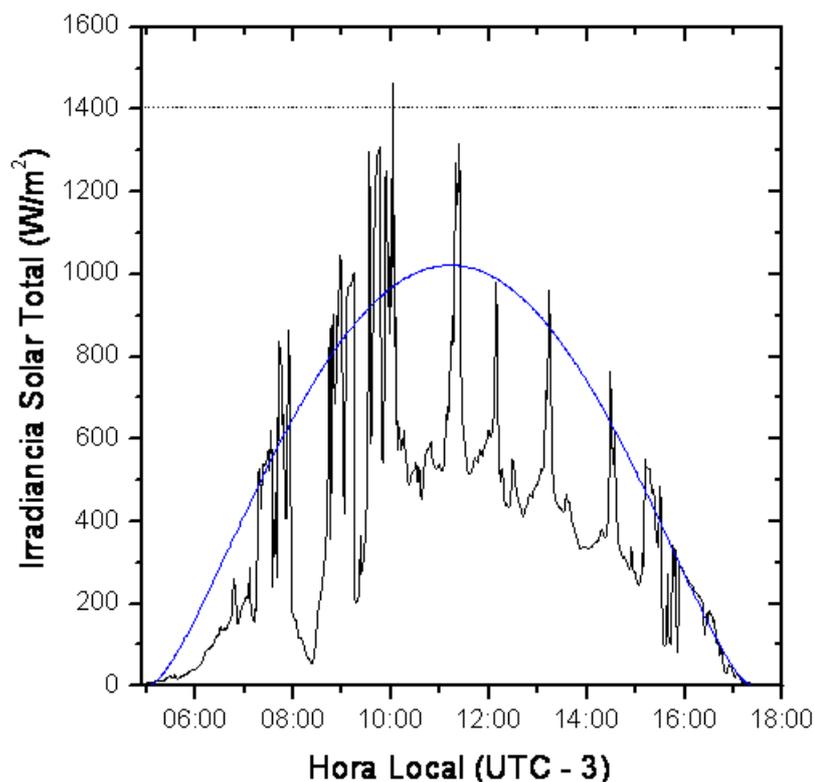


Figura 2. Irradiancia solar total registrada en el Campus de la Universidad Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, el día 10 de Diciembre de 2008, con radiómetro Eppley PSP. El valor extremo de $(1464 \pm 30) \text{ W/m}^2$ fue registrado a la hora local 10:03 (UT - 3). La Constante Solar Corregida está representada por la línea horizontal de trazos al valor $1407,2 \text{ W/m}^2$. Los datos derivados del Modelo de Iqbal (1983) están dados por la línea azul, con los siguientes parámetros: presión: 1015 hPa; visibilidad: 15 km; agua precipitable: 2 cm; ozono: 263 Dobson; albedo superficial: 0,2; albedo simple de dispersión (single scattering albedo): 0,9.

También representamos en la figura 2, la irradiancia calculada con el Modelo C de Iqbal (1983) implementado en el software DESYF.SOLG 1.0 (Salum et al., 2007; y Salum 2009), empleando los parámetros característicos del día considerado, simulando la situación ideal de cielo claro.

CÁLCULO DE LA IRRADIANCIA SOLAR TOTAL DE VALOR PICO, AUMENTADO POR EFECTO DE NUBES

Con el objeto de evaluar la contribución del aumento extremo producido por las nubes en la irradiancia solar total, en la figura 3 hemos representado la variación de dicha irradiancia alrededor del pico de 1309 W/m^2 registrado el día 10 de Diciembre de 2008, a la hora local 9:46 (UT - 3), presentado en la figura 2. Obtenemos la irradiación medida en el intervalo 9:38 a 9:48 hs, integrando la irradiancia. En consecuencia, la irradiación H resulta

$$H(t_1, t_2) = \int_{t_2}^{t_1} I(t) \cdot dt \quad (1)$$

siendo $t_1 = 9:38$ hora local y $t_2 = 9:48$ hora local. El valor de la integral es: $H(9:38, 9:48) = 705,27 \text{ kJ/m}^2$.

Análogamente, para la irradiación que hubiera sido registrada en un día de cielo claro con similares características del resto de la atmósfera, obtenemos $H^*(9:38, 9:48) = 562,53 \text{ kJ/m}^2$.

El incremento relativo porcentual es entonces,

$$\Delta H(\%) = \left| \frac{H^*(t) - H(t)}{H^*(t)} \right| \cdot 100\%$$

$$\Delta H(\%) = \left| \frac{562,53 \text{ kJ/m}^2 - 705,27 \text{ kJ/m}^2}{562,53 \text{ kJ/m}^2} \right| \cdot 100\% = 25,37\% \quad (2)$$

lo que representa una variación excepcionalmente alta que debe ser tomada en cuenta en diversas aplicaciones (ver ítem Conclusiones).

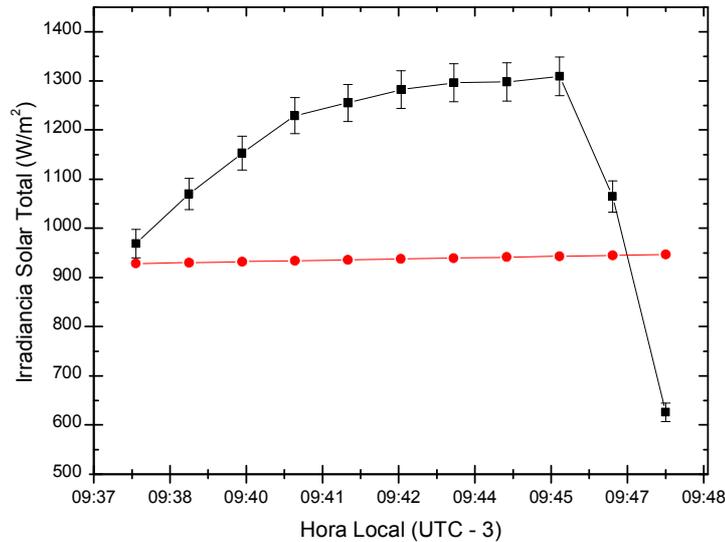


Figura 3. Irradiancia solar total de la figura 1, en el intervalo de tiempo de hora local: 9:38 - 9:48 (UT -3). La línea negra representa la irradiancia registrada con el radiómetro y la línea roja, la irradiancia determinada según el Modelo C de Iqbal (1983). En el caso de las mediciones se incluyen las barras de incerteza del 3%.

CONCLUSIONES

Las conclusiones más importantes del presente trabajo son las siguientes:

- En la región intertropical, aún a nivel del mar, tal como en la ciudad de Recife, Brasil, se registran incrementos de la irradiancia solar total en intervalos de tiempo significativos, en el sentido de que llegan a ser de hasta 10 minutos, en relación a fluctuaciones mucho más acotadas en el tiempo (dentro del minuto), en los cuales la irradiación (integral) correspondiente llega a incrementarse hasta un 25% por sobre los valores esperados para condiciones de cielo claro, por efecto de reflexión en borde de nubes y de dispersión de fotones en el plano nuboso.

- Deben tenerse en cuenta los valores extremos de la irradiancia solar total y la irradiación correspondiente, al decidir sobre la compra o construcción de instrumentos medidores de radiación solar total o espectral o en el análisis de la correlación entre estas radiaciones y sistemas biológicos.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer a las siguientes instituciones y programas de investigación: ANPCYT, CONICET, Programa CAPES(Brasil)/MINCYT(Argentina), UNRosario, UTN/Reg. Concepción del Uruguay, UFPE/Brasil.

REFERENCIAS

- Iqbal M, 1983. *An Introduction to Solar Radiation* – Academic Press
- Piacentini RD, Cede A y Bárcena H, 2003. 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
- Piacentini RD, Salum GM, Fraidenraich N y Tiba C, 2010. Extreme total solar irradiance due to cloud enhancement at sea level of the NE Atlantic coast of Brazil, *Renewable Energy*, 36 (1), Enero 2011, 409-412, versión on line disponible desde Julio de 2010, doi:10.1016/j.renene.2010.06.009
- Salum GM, Ipiña A y Piacentini RD, 2007. Desarrollo de un algoritmo para la modelización de la radiación solar global y del control de datos – *Revista Mecánica Computacional* – Vol. XXVI, 1774–1787, ISSN 1666-6070
- Salum GM, 2009. Tesis Doctoral “Sistema de detección de eventos solares y atmosféricos significativos” – Universidad Nacional de Rosario

ABSTRACT

In this paper, we analyze in detail the extreme values of total solar irradiance (ranges UV, visible and IR) that greatly exceed (by more than 25%), the values shown in clear sky conditions, which are caused by reflection in edge of clouds or by multiple scattering of photons at the cloud. In particular, we consider the geographical area of Recife, a city close to equator, on the coast north-eastern Brazil. We have investigated the short periods of days in which conditions are appropriate for cloud cover (greater than 50% and less than 80%, so you can receive the Sun through inter-clouds areas), producing a value of irradiance exceeding the solar constant corrected for the day in question. We obtain the radiation during such periods, as to the value for clear skies, the total time interval in which these natural events occur and the relative percentage for daily hours. The results show that these total radiation dose can be significant in its effects. In particular, be taken into account when deciding on the purchase or construction of instruments measuring solar radiation or in total or spectral analysis of the correlation between the radiation and biological systems.

Keywords: total radiation, extreme values, clouds, Recife.