

# VARIACION DIURNA DE LA RADIACION SOLAR GLOBAL ULTRAVIOLETA CON LA ALTITUD GEOGRAFICA EN COSTA RICA<sup>1</sup>

*Jaime Wright  
Hugo Marenco*

Departamento de Física, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica  
(Recibido: octubre 5, 1992 / Aceptado: marzo 30, 1994)

## RESUMEN

La radiación ultravioleta (UV) contribuye relativamente con poca energía en relación con la del espectro solar; sin embargo es muy importante porque biológicamente es muy activa. Este trabajo presenta mediciones experimentales de la radiación global y ultravioleta, sobre un plano horizontal, en estaciones ubicadas a diferentes altitudes en Costa Rica (Heredia 1.050 m, Limón 5 m, Volcán Irazú 3.400 m, San Pablo de Turruabares 375 m y Monte Verde de Siquirres 34 m). Los radiómetros UV y global fueron conectados a un sistema de adquisición de datos (data logger), el cual fue programado para leer los datos cada 30 segundos durante el día solar.

Con el objeto de poder determinar y analizar algunos picos máximos y mínimos en los datos de la radiación global y UV horaria media mensual en condiciones de cielo claro, son procesados en este trabajo los datos correspondientes al período febrero 1991 a enero 1993 (2 años) en Heredia. Asimismo, valores horarios medios de la radiación global y UV medidos durante varios días consecutivos de febrero, marzo y abril de 1992 en Limón, Volcán Irazú, San Pablo de Turruabares y Monte Verde de Siquirres, son procesados y analizados en este estudio. También son analizadas las variaciones horarias y diarias de la radiación global y ultravioleta con la altitud para cada estación.

Los valores medios anuales de la radiación solar global UV calculados para el período de años en Heredia, varían de un mínimo de 0.172 Kwh/m<sup>2</sup> en octubre a un máximo de 0.290 Kwh/m<sup>2</sup> en marzo. El valor diario medio anual recibido durante ese período en cuestión fue de 0.215 kwh/m<sup>2</sup>.

Los valores porcentuales horarios del cociente

entre la radiación ultravioleta  $I_v$  y global  $I_g$ ; esto es  $(I_v/I_g) \times 100$ , varían de un máximo de 4.7% a un mínimo de 3.1% en Limón, y de un máximo de 5.2% a un mínimo de 3.1% en el Volcán Irazú. Las variaciones horarias de  $(I_v/I_g) \times 100$  revelan un incremento general en las horas de mayor nubosidad, a pesar del decrecimiento del valor absoluto de UV por atenuación en días nubosos y a bajas elevaciones solares. Lo anterior indica que las nubes absorben más radiación global comparado con la de la región ultravioleta del espectro solar, esto es consistente con el hecho conocido de que la radiación infrarroja, que es parte de la global, es absorbida en forma más efectiva por las nubes.

Con base en un análisis de regresión lineal de los mínimos cuadrados entre la radiación UV y global, se propone una relación empírica para estimar la radiación UV utilizando mediciones experimentales de la intensidad de la radiación global.

## ABSTRACT

Ultraviolet radiation (UV) contributes little to the solar spectrum; however, it is very important as a result of its strong biological action. Experimental measurements of global and UV radiation were carried out at different altitude stations in Costa Rica (Heredia 1.050 m, Volcan Irazú 3.400, Monte Verde de Siquirres 34 m, Limón 5 m, and San Pablo de Turruabares 375 m). The global and UV radiometers were interfaced to a data acquisition system (data logger) in order to read the output every 30 sec during the solar day.

1. Este trabajo fue presentado como ponencia en el VIII Congreso Costarricense de Física. Celebrado en la Universidad de Costa Rica del 7 al 13 de setiembre de 1992.

In order to determine and analyze peaks of maximum and minimum hourly-averaged radiation in clear sky conditions, global and UV solar radiation data were processed and measured within the period February 1991 to January 1993 (2 years) in Heredia. Data for the other stations, were processed using global and UV solar radiation for several consecutive days in February, March and April of 1992. Hourly and daily variations of global and ultraviolet solar radiation with altitude were also analyzed.

Over a two years period in Heredia the computed annual means for the global UV radiation were 0.215 kWh/m<sup>2</sup>, with a maximum in March of 0.290 kWh/m<sup>2</sup> and a minimum in October of 0.172 kWh/m<sup>2</sup>.

The hourly percentage of the quotient between ultraviolet I<sub>v</sub> and global radiation I<sub>g</sub> (I<sub>v</sub>/I<sub>g</sub>)x100 varies from a maximum of 4.7% to a minimum of 3.1% in Limón, and from a maximum of 5.2% to a minimum of 3.1% at Volcán Irazú. For all stations it is found an increase of (I<sub>v</sub>/I<sub>g</sub>)x100 due to increasing cloudiness, consistent with the known fact that clouds absorb more energy in the near infrared than in the ultraviolet region of the solar spectrum. A similar effect occurs at low solar altitude.

Employing the least-square linear regression analysis an estimated empirical function relating global radiation to ultraviolet radiation was obtained.

## INTRODUCCION

El estudio de la radiación UV ha recibido considerable atención en los últimos años, debido a los efectos biológicos, ecológicos y físicos asociados a esta radiación. Se sabe que la exposición excesiva de radiación UV causa cáncer de la piel (Smith 1975, Brodthagen 1969, Coulsen 1975), cataratas en los ojos (Zigman 1977), pigmentación y fotodecomposición. Se ha observado que la radiación UV es la responsable de ciertas reacciones indeseables en algunas plantas químicas comerciales (Sukhanov y Sufaev 1971). La radiación UV es también considerada como el principal factor ambiental causante de la degradación plástica (Davis y Sims 1983).

Por otro lado, la radiación UV tiene un efecto benéfico en el organismo humano y en el medio ambiente (Akilov et al. 1977). Ya sea por luz natural o artificial, la radiación UV ha sido utilizada

en el tratamiento de tuberculosis, saneamiento de heridas, control de plagas e insectos, purificación del sistema de aguas para uso doméstico (Coulsen 1975) y tratamientos dermatológicos.

En el espacio exterior la radiación UV es aproximadamente el 8.73% de la radiación extraterrestre total (Al-Aruri et al. 1988), mientras que en cualquier parte de la superficie terrestre, la radiación UV, depende del ángulo cenital, contenido atmosférico de ozono y transparencia atmosférica (contenido vertical de agua precipitable, cantidad de polvo y otros aerosoles en la atmósfera, etc.).

Para el estudio de la radiación UV se ha convenido en clasificarla en tres bandas:

- 1) UV-A cubre el rango de longitudes de onda de 0.400 a 0.320 μm.
- 2) UV-B cubre el rango de longitudes de onda de 0.320 a 0.290 μm.
- 3) UV-C cubre el rango de longitudes de onda de 0.290 a 0.200 μm.

De estas tres bandas, recibimos en la superficie terrestre UV-A y UV-B. La componente UV-C es removida totalmente por absorción a través de la capa protectora del ozono (Wallace y Hobbs 1977).

Como la dispersión es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda (dispersión de Rayleigh), la componente UV-B es sometida a mayor dispersión atmosférica, y la cantidad de radiación solar UV-A que llega a la superficie terrestre es mucho mayor en magnitud que la UV-B; debido a que UV-B es parcialmente absorbida por la capa del ozono, mientras UV-A es transmitida (Wallace y Hobbs 1977).

Las mediciones de la radiación UV en Costa Rica son escasas. Debido a que su alta variabilidad y a su baja intensidad requieren de equipo especializado. Castro (1986) presentó un método para estimar la intensidad de la radiación UV a diferentes horas del día, en función de la radiación recibida en el tope de la atmósfera y de los registros climáticos de radiación global. Sin embargo, los resultados obtenidos teóricamente por Castro (1986) para dos

estaciones de la costa atlántica, Limón y Cobal, no pudieron ser revisados por la ausencia de mediciones reales. Cabe mencionar que a pesar de la importancia que tiene la radiación UV, las mediciones hasta el presente han sido escasas y esporádicas en todo el mundo.

## MATERIALES Y METODOS

Con el objeto de analizar el comportamiento de la radiación UV en lugares con diversas condiciones atmosféricas en Costa Rica, este trabajo presenta valores horarios de la radiación global  $I_g$  y ultravioleta  $I_v$  medidos en Heredia (latitud  $10^{\circ} 02' N$ , longitud  $84^{\circ} 09' W$ ; altitud 1.050 m), Volcán Irazú (latitud  $9^{\circ} 59' N$ , longitud  $83^{\circ} 50' W$ ; altitud 3.400 m), Monte Verde de Siquirres (latitud  $10^{\circ} 06' N$ , longitud  $83^{\circ} 26' W$ ; altitud 34 m), Limón (latitud  $10^{\circ} 00' N$ , longitud  $83^{\circ} 02' W$ ; altitud 5 m), San Pablo de Turrubares (latitud  $9^{\circ} 50' N$ , longitud  $84^{\circ} 19' W$ ; altitud 375 m) y Santa Cruz de Guanacaste (latitud  $10^{\circ} 16' N$ , longitud  $85^{\circ} 35' W$ ; altitud 54 m).

Los datos de radiación solar presentada en este trabajo, fueron obtenidos utilizando los siguientes radiómetros:

1. Radiómetro Eppley blanco y negro, modelo 8-48; el cual fue utilizado para la medición de la radiación solar global en el rango de longitudes de onda de 295 nm a 2.800 nm.
2. Radiómetro Eppley UV, modelo TUVR; el cual fue utilizado para la medición de la radiación solar global UV en el rango de longitudes de onda de 295 nm a 385 nm.

Ambos radiómetros fueron instalados horizontalmente en lugares descubiertos en Heredia, Limón, Volcán Irazú, San Pablo de Turrubares, Santa Cruz de Guanacaste y Monte Verde de Siquirres. Asimismo, los radiómetros fueron conectados a un sistema de adquisición de datos (SAD). El SAD fue programado para leer la salida de los datos cada 30 segundos y sincronizado a un reloj para tomar dos lecturas cada minuto, los cuales, posteriormente, fueron promediados y almacenados en una microcomputadora usando un puerto de comunicación RS232.

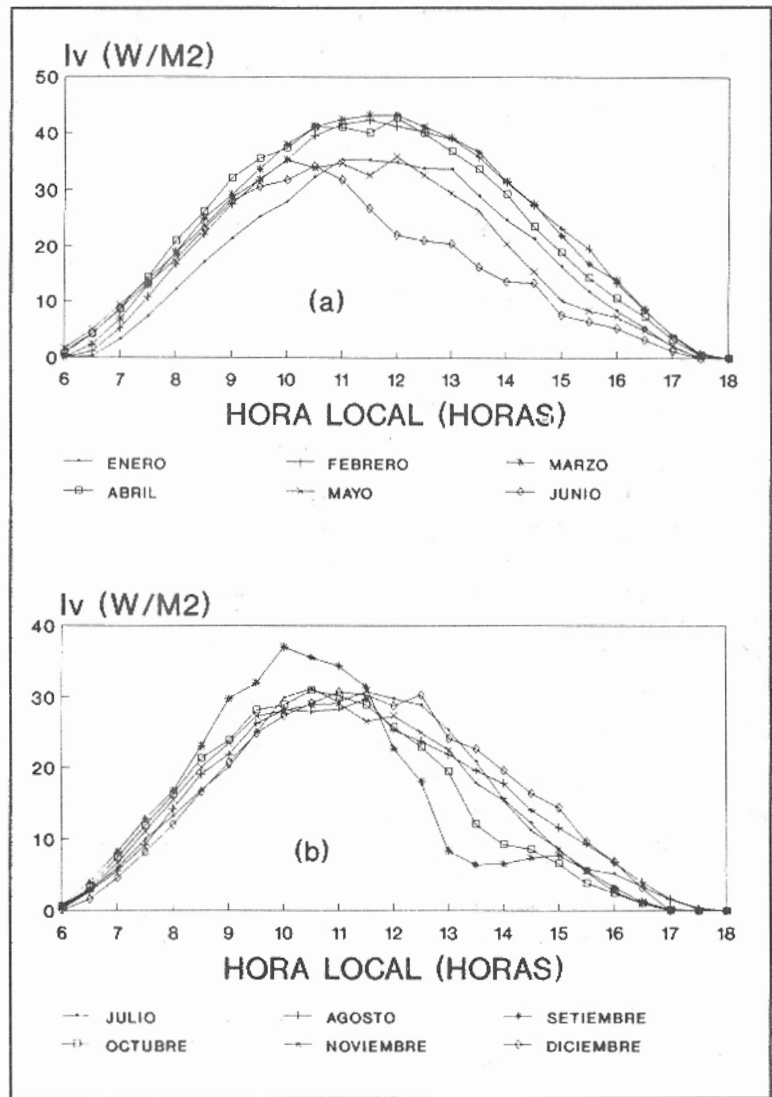
## RESULTADOS

La Fig. 1 presenta los valores horarios medios mensuales de la radiación ultravioleta  $I_v$ , los cuales fueron medidos en el período febrero 1991 a enero 1993. La máxima intensidad  $I_v$  supera los  $40 \text{ W/m}^2$  entre las 11 y 13 horas en los meses de febrero, marzo y abril (Fig. 1a), lo cual se atribuye al mayor número de días claros presentes en los meses más secos del verano en Heredia. En los restantes meses del año existe una disminución de un 25% en los valores de  $I_v$ , principalmente atribuida al aumento de la nubosidad, precipitación y turbiedad atmosférica.

Se observa en la Fig. 1, que las máximas intensidades  $I_v$  de mayo a diciembre raramente superan los  $30 \text{ W/m}^2$  por las mañanas. Junio (Fig. 1a) y setiembre (Fig. 1b) registran máximas intensidades  $I_v$  cerca de las 10:00 a.m. Estas reducciones en las intensidades de  $I_v$  respecto del mediodía local, son atribuidas al aumento de la nubosidad en las mañanas y a la consecuente precipitación en las tardes, fenómeno característico durante la época lluviosa. Es interesante constatar, una caída del 28% entre la cantidad de radiación UV horaria media mensual de los máximos recolectada en febrero y marzo ( $42 \text{ W/m}^2$ ) y la recolectada en noviembre y diciembre ( $30 \text{ W/m}^2$ ). Lo cual se relaciona con la mayor y menor nubosidad e intensidad solar en noviembre y diciembre, respectivamente. Asimismo, se nota una caída del 27% entre la máxima intensidad  $I_v$  medida en noviembre ( $710 \text{ W/m}^2$ ) y la de marzo ( $960 \text{ W/m}^2$ ).

La Fig. 2 presenta los valores de  $I_v$  e  $I_g$  para Limón (3-8 de abril, 1992), Volcán Irazú (11-22 de marzo, 1992), Monte Verde de Siquirres (28-31 de marzo, 1992) y San Pablo de Turrubares (8-11 de febrero, 1992). Los valores máximos de  $I_v$  ( $56 \text{ W/m}^2$ ) se presentan alrededor de las horas del mediodía en el Volcán Irazú; representando este valor máximo del Volcán Irazú prácticamente el doble del valor máximo de Limón o Monte Verde de Siquirres ( $30 \text{ W/m}^2$ ), estaciones ubicadas cerca del nivel del mar. Según la Fig. 2, los valores máximos de  $I_v$  en Limón, Monte Verde de Siquirres y San Pablo de Turrubares son respectivamente 34, 30 y  $33 \text{ W/m}^2$ , lo que representa caídas del 39.2, 46.4 y 41.1% respecto del valor máximo horario medio

Fig. 1. Valores horarios medios mensuales de la radiación solar global ultravioleta  $I_v$  ( $W/m^2$ ), medidos sobre una superficie horizontal, durante el período febrero 1991 a enero 1993 en Heredia, (a) de enero a junio y (b) de julio a diciembre.

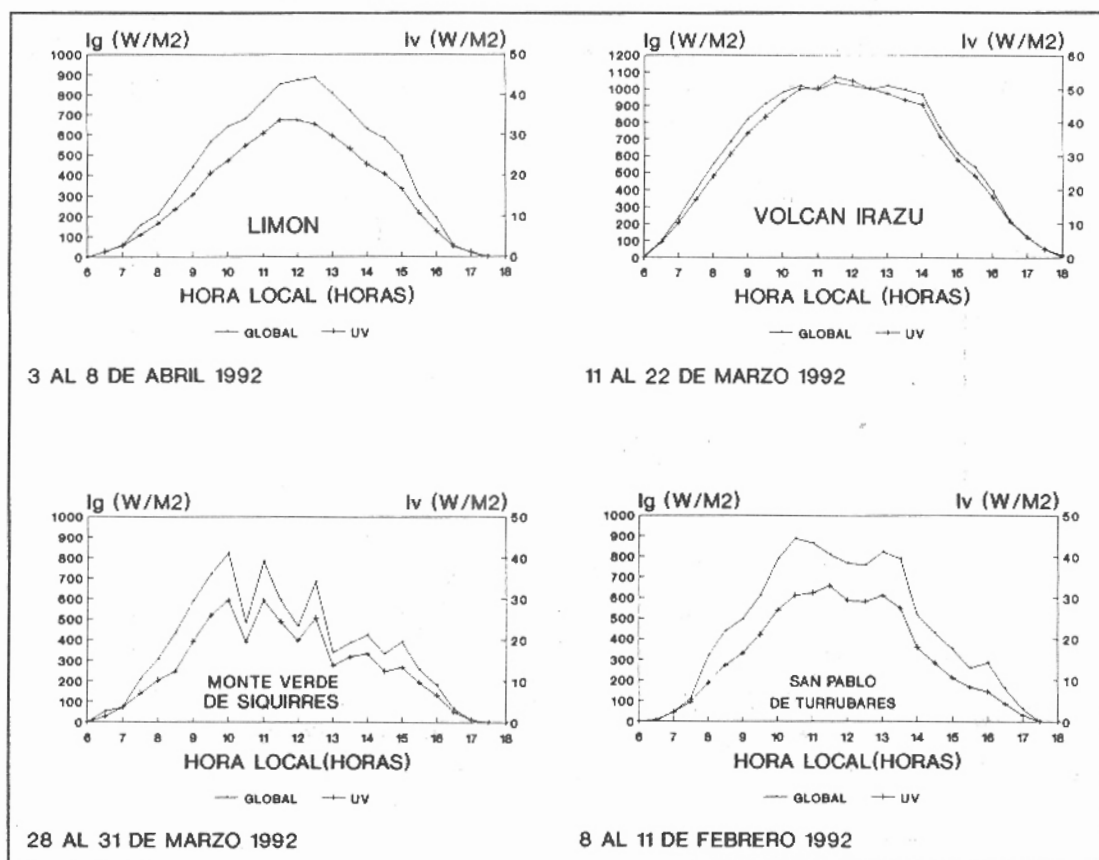


del Volcán Irazú. Lo que muestra que en el Volcán Irazú se registran las mayores intensidades UV como era de esperar, por ser el lugar de mayor altitud (3.400 m), lo que produce menor atenuación de los rayos solares por los constituyentes atmosféricos (contenido vertical de vapor de agua, masa de aire, turbiedad y otros aerosoles en la atmósfera).

También los valores horarios medios de la radiación global  $I_g$  del Volcán Irazú son altos, excediendo éstos los  $1.000 W/m^2$  entre las 11 y 13 horas, como se muestra en la Fig. 2. En Monte

Verde de Siquirres, Limón y San Pablo de Turrubares, los valores máximos  $I_g$  están por debajo de los  $900 W/m^2$ . Por la mayor atenuación producida por la masa atmosférica en estas últimas tres estaciones, los valores máximos de  $I_g$  se dan a las 10 horas ( $823 W/m^2$ ) en Monte Verde, 12:30 horas en Limón ( $887 W/m^2$ ) y 10:30 horas en San Pablo de Turrubares ( $885 W/m^2$ ); mientras en el Volcán Irazú, el valor máximo de  $I_g$  se da a las 11:30 horas.

Se hace notar que si bien el período de observaciones fue corto, se observa una diferencia consistente entre los valores de las radiaciones UV



**Fig. 2.** Valores horarios medios de la intensidad de la radiación global  $I_g$  y ultravioleta  $I_v$  en una superficie horizontal en Limón, Volcán Irazú, Monte Verde de Siquirres y San Pablo de Turrubares, medidos en febrero, marzo y abril de 1992.

y global medidos en condiciones de cielo claro entre las intensidades de  $I_v$  e  $I_g$  medidas en el Volcán Irazú y las otras estaciones mencionadas.

Las Figs. 3, 4, 5 y 6 presentan los valores porcentuales horarios de la fracción de UV; esto es  $(I_v/I_g) \times 100$ , para el período en cuestión en Heredia, Volcán Irazú, San Pablo de Turrubares, Limón y Monte Verde de Siquirres. Las fluctuaciones producidas por las condiciones atmosféricas se notan más claramente con las variaciones horarias de  $(I_v/I_g) \times 100$  en febrero, marzo y abril de 1992 y para Heredia en mayo, junio y setiembre de 1991 y 1992; esto es debido a condiciones irregulares de nubosidad, que hace que exista mayor variación en los valores de  $(I_v/I_g) \times 100$ . Además, se observa en estas figuras, un incremento en los valores de  $I_v/I_g$

$I_g \times 100$  a bajas elevaciones solares; antes de las 9:00 y después de las 16:00 horas. Lo anterior se debe al incremento de la atenuación de la radiación global y especialmente de la componente directa, debido al mayor espesor atmosférico a esas horas.

Los valores de  $(I_v/I_g) \times 100$  son mayores en todas las estaciones para condiciones nubosas que para cielos claros, como se nota en las Figs. 3, 4, 5 y 6. La absorción de la energía por las nubes es dependiente de la longitud de onda y en general se ha encontrado que la absorción es mucho mayor en la región cerca del infrarrojo que para longitudes de onda más cortas (Eaton y Dirmhirn 1979, Amback et al. 1991, Khogali y Al-Bar 1992). Esto ocasiona un incremento relativo de la radiación UV respecto del espectro total. Este hecho se presenta en todas

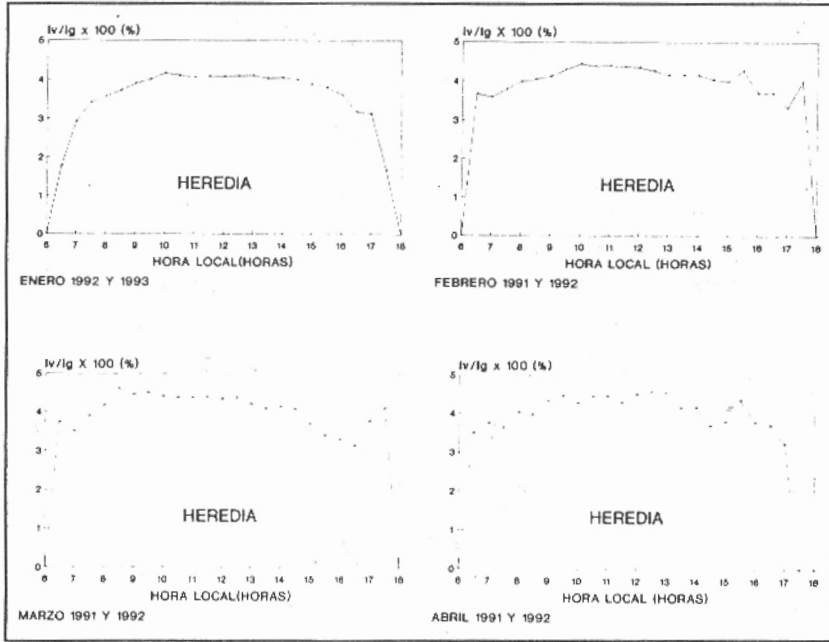


Fig. 3. Valores porcentuales horarios medios mensuales del cociente entre la radiación  $I_v$  y la radiación global  $I_g$ , ( $I_v/I_g$ ), ambos medidos sobre una superficie horizontal, para los meses enero a abril en Heredia.

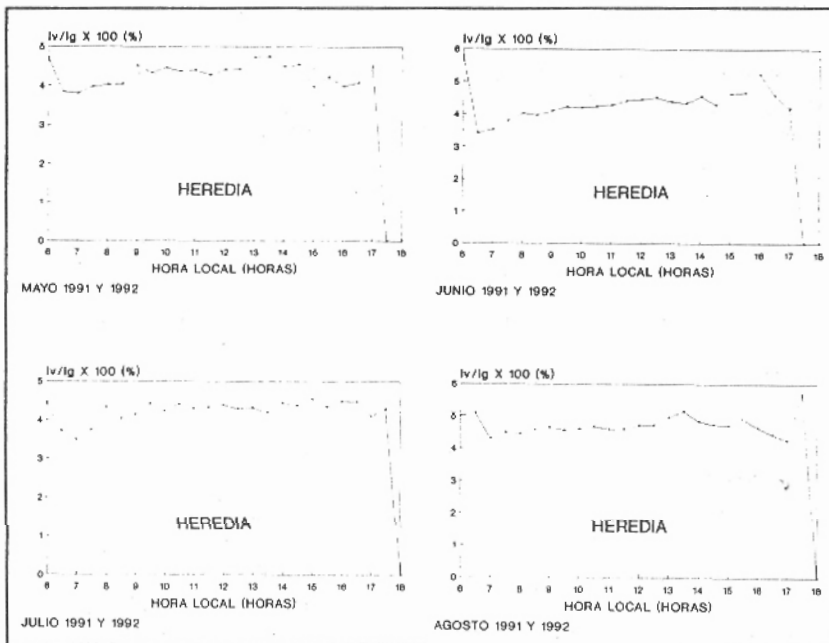
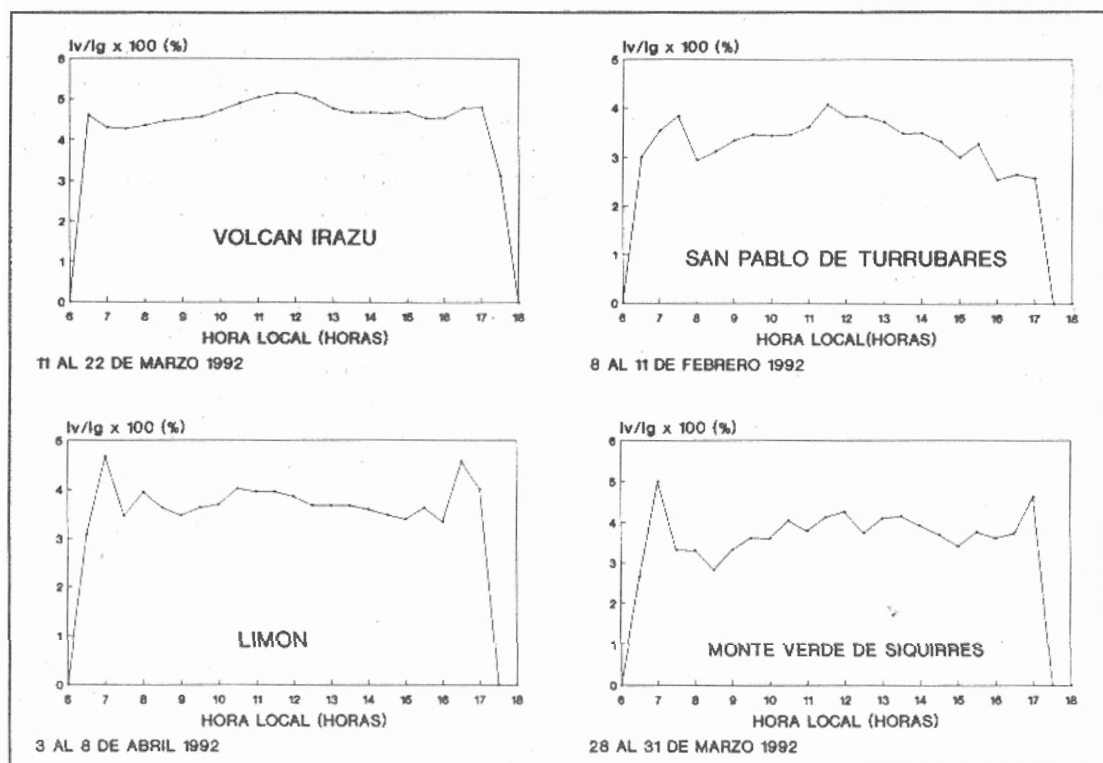
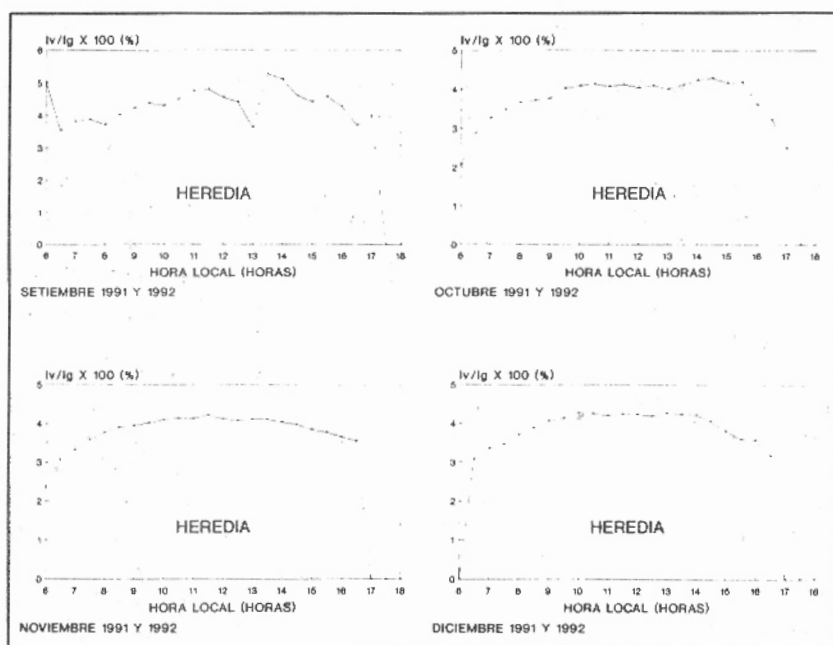


Fig. 4. Valores porcentuales horarios medios mensuales del cociente entre la radiación  $I_v$  y la radiación global  $I_g$ , ( $I_v/I_g$ ), ambos medidos sobre una superficie horizontal, para los meses mayo a agosto en Heredia.

**Fig. 5.** Valores porcentuales horarios medios mensuales del cociente entre la radiación  $I_v$  y la radiación global  $I_g$ ,  $(I_v/I_g) \times 100$ , ambos medidos sobre una superficie horizontal, para los meses setiembre a diciembre en Heredia.



**Fig. 6.** Valores porcentuales horarios medios del cociente entre la radiación ultravioleta  $I_v$  y la radiación global  $I_g$ ,  $(I_v/I_g) \times 100$ , ambos medidos sobre una superficie horizontal, para los meses febrero, marzo y abril en Limón, Volcán Irazú, Monte Verde de Siquirres y San Pablo de Turrubares.

Cuadro 1.

Valores diarios medios mensuales de la radiación global Hg y ultravioleta Hv en Heredia.

Mes/Período	Hg (Kwh/m <sup>2</sup> )	Hv (Kwh/m <sup>2</sup> )	Hv/Hgx100 (%)
Enero 1992 y 1993	5.553	0.220	3.96
Febrero 1991 y 1992	6.672	0.280	4.20
Marzo 1991 y 1992	6.934	0.290	4.18
Abril 1991 y 1992	6.663	0.282	4.23
Mayo 1991 y 1992	5.314	0.231	4.35
Junio 1991 y 1992	4.497	0.191	4.25
Julio 1991 y 1992	4.367	0.187	4.28
Agosto 1991 y 1992	3.945	0.185	4.69
Setiembre 1991 y 1992	4.058	0.177	4.36
Octubre 1991 y 1992	4.344	0.172	3.96
Noviembre 1991 y 1992	4.482	0.179	3.99
Diciembre 1991 y 1992	4.705	0.191	4.06
Valores medios anuales	5.123	0.031	4.21

las estaciones. Para cielos nublados dicho incremento relativo es del orden del 10% (Figs. 3, 4, 5 y 6).

El Cuadro 1 presenta valores diarios medios mensuales de la radiación global Hg, ultravioleta Hv y el valor porcentual del cociente entre ambos (Hv/Hg)x100, para el período febrero 1991 a enero 1993 en Heredia. Se observa que los valores máximos de Hg y Hv se registraron en marzo 1991 y 1992, con valores respectivos de Hg y Hv de 6.934 y 0.29 Kwh/m<sup>2</sup>. Asimismo, valores mínimos de Hg y Hv se registran en agosto 1991 y 1992 y octubre 1991 y 1992, con valores respectivos de 3.945 y 0.172 Kwh/m<sup>2</sup>. Durante ese mismo período de mediciones, la radiación UV constituyó el 4.2% de la radiación global en Heredia.

El Cuadro 2 presenta valores diarios medios de la radiación global Hg y ultravioleta Hv en Monte Verde de Siquirres (28 a 31 de mayo, 1991), Limón (3 a 8 de abril, 1991), San Pablo de Turrubares (8 a 11 de febrero, 1991) y Volcán Irazú (11 a 22 marzo, 1991). Se observa en este Cuadro 2, que la máxima Hg y Hv corresponden al Volcán Irazú, con valores de 7.724 y 0.37 Kwh/m<sup>2</sup>, respectivamente. La radiación UV en el Volcán Irazú constituyó el 4.7% de la radiación global (ver Cuadro 2), esto es consistente con la interpretación dada anteriormente.

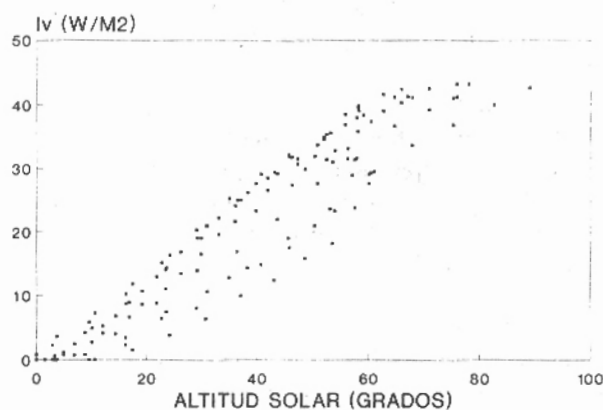
La Fig. 7 presenta los valores horarios medios mensuales de la radiación UV versus altitud solar para Heredia, utilizando 144 puntos entre los meses de noviembre a abril. Se observan valores mayores de 40 W/m<sup>2</sup> en el rango de elevaciones solares de 60 a 90°, y valores menores de 10 W/m<sup>2</sup> en el rango de 0 a 20°. Se nota un incremento prácticamente lineal entre Iv y altitud solar, se nota también una alta variabilidad de Iv (ver Fig. 7).

Un análisis de regresión elaborado por el método de los mínimos cuadrados entre los valores diarios medios mensuales de radiación ultravioleta Hv y global Hg, muestra una relación lineal de la forma:

$$Hv = 0.04 Hg + 0.008 \quad (1)$$

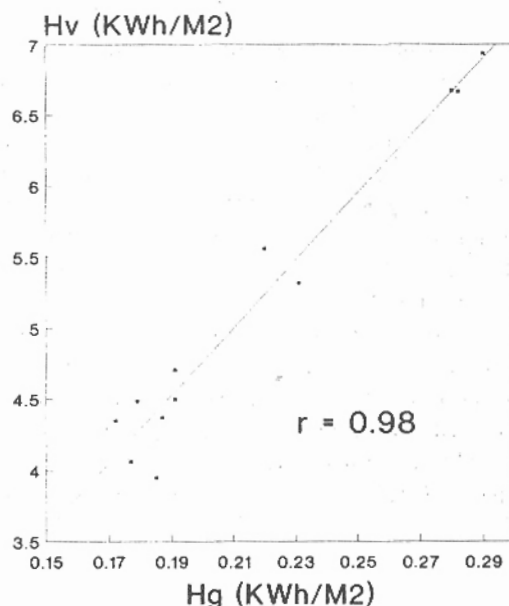
El coeficiente de correlación lineal (r) obte-





**Fig. 7.** Variación de la radiación UV horaria media en función de la altitud solar para el período noviembre 1991 a abril 1992 en Heredia.

nido fue de 0.98, lo que da un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) del 96%. El alto índice de  $r^2$  denota una alta precisión de la Ec. (1) para la estimación de los valores diarios medios mensuales de la radiación UV, conociendo el valor de la componente global. La Fig. 8 ilustra la variación de  $H_v$  en función de  $H_g$ , en la que se representa la línea de regresión correspondiente a los doce meses del año en Heredia.



**Fig. 8.** Valores diarios medios mensuales de la radiación UV,  $H_v$ , en función de los valores diarios medios mensuales de la radiación global,  $H_g$ , ambos medidos sobre una superficie horizontal en Heredia, del período febrero 1991 a enero 1993.  $r$  representa el coeficiente de correlación lineal.

**Cuadro 2.**

**Valores diarios medios de la radiación global  $H_g$  y ultravioleta  $H_v$  en cuatro estaciones de Costa Rica.**

Estación	Período	Altitud (m)	$H_v$ (Kwh/m <sup>2</sup> )	$H_g$ (Kwh/m <sup>2</sup> )	$(I_v/I_g) \times 100$ (%)
Monte Verde	28-31 de marzo	34	0.16	4.290	3.7
Limón	3-8 de abril	5	0.19	5.134	3.7
San Pablo	8-11 de febrero	375	0.19	5.295	3.4
Volcán Irazú	11-22 de marzo	3.400	0.37	7.724	4.7

## CONCLUSIONES

Datos experimentales de la radiación global y ultravioleta sobre un plano horizontal en varios lugares de Costa Rica, se presentan en este trabajo. Las mediciones muestran que los valores horarios de la radiación UV en el Volcán Irazú alrededor del mediodía, son cerca de 1.7 veces mayores que los valores medidos en Limón y Monte Verde de Siquirres. También los valores diarios (esto es, la integración de los valores horarios desde la 6 a.m. hasta las 6 p.m. con un lapso de 15 minutos) de la radiación UV en el Volcán Irazú son altos con respecto a las otras estaciones; por ejemplo, en el Volcán Irazú resultó ser hasta 2.3 veces mayor que en Monte Verde de Siquirres, y 1.95 veces mayor que en Limón y en San Pablo de Turrubares. Lo

anterior muestra el efecto de la altitud geográfica en la atenuación de la radiación UV.

Comparaciones de  $(I_v/I_g) \times 100$  para todas las condiciones atmosféricas, indican que la nubosidad y la precipitación reducen más rápidamente la radiación global que la ultravioleta, resultando en un incremento aproximado del 10% del cociente entre la radiación UV y la global.

Con base en un análisis de regresión elaborado sobre la radiación UV y global de los últimos dos años en Heredia, se obtuvo una relación empírica para estimar la radiación UV a partir de la intensidad de la radiación global. El coeficiente de determinación obtenido fue de 96%, lo que indica que la radiación global es un excelente estimador de la radiación UV.

## LITERATURA CITADA

- Akilov, Yu. Zu, V. A. Turulov, A. Safaev and K. K. Khahimov. 1977. Computer calculation of ultraviolet radiation in the interior of buildings under natural illumination. *Geliotekhnika*, 13(3):49-55.
- Al-Aruri S., M. Rasas, K. Al-Jamal and N. Shaban. 1988. An assessment of global ultraviolet radiation in the range (0.290-0.385  $\mu\text{m}$ ) in Kuwait. *Solar Energy*, 41(2):159-162.
- Amback W., M. Blumthaler and G. Wendler. 1991. A comparison of ultraviolet radiation measured at an arctic and an alpine site. *Solar Energy*, 47(2):121-126.
- Brodthagen, H. 1969. Polymorphous light eruptions. The biologic effects of ultraviolet radiation, F. Urbach (ed.), Pergamon Press, Elmsford, N. Y.
- Castro, V. 1986. Método para la estimación de radiación ultravioleta a partir de registros de radiación solar global. *Cienc. Tec.*, 10(1):103-106. San José, Costa Rica.
- Coulsen, K. L. 1975. *Solar and Terrestrial radiation*. Academic Press, New York.
- Davis, A. and D. Sims. 1983. *Weathering of Polymers*, Applied Science Publication, Essex, England.
- Eaton F. D. and I. Dirmhirn. 1979. Reflected irradiance indicators of natural surfaces and their effect on albedo. *Appl. Opt.*, 18:994-1008.
- Fernández, W., V. Castro, J. Wright, H. Hidalgo y A. Sáenz. 1992. Cambios de la irradiancia solar y determinación de la turbiedad atmosférica en Costa Rica durante el Eclipse Total del 11 de Julio de 1991. *El Eclipse Total de Sol del 11 de Julio de 1991: Observaciones Científicas realizadas en Costa Rica* (W. Fernández, ed.), Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Khogali, A. and O. F. Al-Bar. 1992. A study of solar ultraviolet radiation at Makkah Solar Station. *Solar Energy*, 48(2): 79-87.
- Smith, K. 1975. The biological effects of ultraviolet radiation on man, animal and plants. *Proc. Survey Conf. Climatic Impact Assessment Program*, A. E. Barrington (ed.), Washington, D. C., U.S. Dept. of Transportation.
- Sukhanov, I. S. and A. S. Safaev. 1971. Estimation of the natural ultraviolet irradiation of buildings. *Geliotekhnika*, 7(3):64-69.
- Wallace, J. M. and P. V. Hobbs. 1977. *Atmospheric Science. An introductory Survey*, Academic Press, Inc.
- Zigman, S. 1977. Near ultraviolet light cataracts. *Photochem. Photobiol.*, 26:437-441.