

CORRELACION ENTRE ALGUNOS PARAMETROS CLIMATICOS Y LA HORA DEL DIA EN HEREDIA, COSTA RICA

Jaime Wright

Departamento de Física, Universidad Nacional
Apdo. 86-3000 Heredia, Costa Rica

RESUMEN

Se midieron las radiaciones solar global, infrarroja y ultravioleta, la presión atmosférica, la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento en Heredia, Costa Rica (latitud $10^{\circ} 02' N$, longitud $84^{\circ} 09' W$, altitud 1050 m) durante el período de enero 1996 a diciembre 1997, y se correlacionaron con el tiempo local. Este trabajo contribuirá al desarrollo de un modelo para derivar parámetros climáticos a partir de la hora del día. Correlaciones entre parámetros climáticos y el mes del año han sido desarrolladas en investigaciones anteriores. Análisis de regresión entre valores horarios medios mensuales de los parámetros climáticos y el tiempo local mostraron una relación cúbica como mejor método de ajuste. Las observaciones experimentales presentadas en este estudio son consistentes con los esperados procesos físicos conocidos.

ABSTRACT

The present work is an experimental study of the relationship between the local time and global, ultraviolet and infrared radiation, temperature of the air, atmospheric pressure, relative humidity and wind speed at Heredia, Costa Rica (latitude $10^{\circ} 02' N$, longitude $84^{\circ} 09' W$, altitude 1050 m) from January 1996 to December 1997. This work will contribute to the development of a model for weather parameters including the time of the day. Correlation between weather variables and the month of the year was elaborated in earlier work. Regression analysis between mean monthly

hourly weather data and local time yield a cubic relation as the best fit. Experimental observations presented in this work are consistent with atmospheric physical processes.

INTRODUCCION

El conocimiento cuantitativo de variables climáticas es requerido en muchos campos relacionados con la energía solar y en otros sistemas como aire acondicionado, estudios médicos y agrícolas, aplicaciones fotovoltaicas, enfriamiento térmico de los edificios, etc. El estudio del rendimiento de equipos que utilizan la energía solar depende, fundamentalmente, de las condiciones climáticas de las regiones donde estos sistemas deben ser probados e introducidos. En efecto, la energía solar está supeditada a fluctuaciones astronómicas y meteorológicas muy variables. Por otra parte, un buen conocimiento de los diferentes parámetros meteorológicos (temperatura, humedad, presión, velocidad del viento, brillo solar, radiación solar, etc.) es esencial para cualquier estudio climático detallado de un lugar dado.

Las estaciones que miden directamente todos los parámetros meteorológicos (estaciones de clase A) en Costa Rica son muy pocas, considerando la gran variabilidad climática y orográfica del país. Es necesario, por lo tanto, establecer el grado de asociación entre los parámetros climáticos medidos comúnmente en estas estaciones y la hora del día en el lugar donde se hicieron las mediciones.

Las relaciones estadísticas con datos climáticos han sido sujeto de varios estudios en muchas localidades. ANGSTRÖM (1924) usando la radiación solar en un día claro, sugirió la utilización del porcentaje de brillo solar, que depende de la nubosidad, como un parámetro para la estimación de la radiación solar. LUND (1968) correlacionó 9 años de observación de insolación con mediciones de temperatura, viento, nieve, horas de sol, nubosidad, presión y precipitación en Blue Hill, Massachusetts. El halló que las observaciones de horas de sol, son el mejor método de predicción de la insolación para todos los meses del año. NORRIS (1968) encontró una buena correlación entre la cantidad, el tipo de nubes y la insolación. WRIGHT (1980a y 1980b) aplicó correlaciones lineales entre la radiación solar, el número de horas de brillo solar, humedad relativa, frecuencia de lluvia relativa y temperatura máxima y concluyó que la duración del brillo solar es el mejor método para la predicción de la radiación solar global en Costa Rica. Sin embargo, observó que en los restantes tres parámetros climáticos, el coeficiente de correlación lineal dio resultados pobres en cinco estaciones de las diez analizadas, lo que no permitió la aplicabilidad general en el país. Más recientemente, ALARURI y AMER (1993) y CAÑADA *et al.* (1997) correlacionaron valores diarios medios mensuales de la radiación solar global, radiación difusa, radiación infrarroja, radiación ultravioleta, temperatura ambiente, humedad relativa, brillo solar y presión atmosférica con el mes del año. Ellos desarrollaron modelos de regresión por el método de los mínimos cuadrados, utilizando datos climáticos de Kuwait y Valencia (España). Un importante aspecto de estos estudios fue el uso de variables no climáticas, como el número del mes del año, para la determinación de parámetros climáticos.

Este artículo presenta un conjunto de mediciones experimentales horarias medias mensuales para el período de dos años (1996 y 1997), de siete variables meteorológicas de importancia fundamental en estudios climáticos. Se desarrollaron modelos de regresión por el método de los mínimos cuadrados, utilizando polinomios de tercer grado, como mejor método de ajuste para la determinación de los valores horarios diarios medios mensuales de los siguientes siete parámetros climáticos: temperatura del aire, presión atmosférica, hume-

dad relativa, radiación solar global, radiación ultravioleta, radiación infrarroja y velocidad del viento.

MATERIALES Y METODOS

Los datos experimentales utilizados en este trabajo fueron medidos en el Departamento de Física de la Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Los datos fueron registrados entre las 6 y 18 horas con los siguientes sensores:

Temperatura ambiente: termocupla de platino (100 ohmios), marca CSI, modelo HMP35c, con precisión de $\pm 0,4^\circ\text{C}$ para mediciones entre el rango comprendido entre -33°C y $+48^\circ\text{C}$.

Humedad relativa: sensor capacitivo «hygrometer», marca CSI, modelo HMP35c, con precisión de $\pm 5\%$, para el rango entre 30% y 90% de humedad relativa.

Radiación solar global: piranómetro Eppley de precisión espectral, modelo PSP, con rango efectivo de 0,295 μm a 2,8 μm .

Radiación infrarroja: pirgeómetro Eppley de precisión espectral, modelo PIR, con rango efectivo de 4 μm a 50 μm .

Radiación ultravioleta: fotómetro Eppley de precisión espectral, modelo TUVR, con rango efectivo de 0,295 μm a 0,385 μm .

Velocidad del viento: anemómetro de tres semiesferas, marca Campbell Scientific Inc., modelo 014 A. Exactitud de $\pm 0,1\text{ m/s}$ y valor umbral de 0,6 m/s.

Presión atmosférica: barómetro anerode, Wilh. Lambrech KG, modelo 811.

Los sensores se conectaron a un multiplexor analógico (MA), marca Campbell Scientific Inc. (CSI), con lectura automática de cada una de las componentes climáticas. A la par de la limpieza diaria, los datos fueron sujetos a un riguroso control automático.

Con base en los valores horarios medios mensuales de las mencionadas variables climáticas,

se procedió a elaborar un análisis de regresión de mínimos cuadrados, utilizando dos años de datos (1996 y 1997). Se halló que una asociación cúbica (ecuación 1) correlaciona bien con la mayoría de los datos obtenidos.

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 \quad (1)$$

donde a_0 , a_2 y a_3 representan los coeficientes de regresión, «y» es el parámetro climático para el período en cuestión, «x» es el tiempo local en horas.

Para evaluar el ajuste estadístico de los modelos se utilizaron los indicadores estadísticos sugeridos por IQBAL (1983). El error medio de polarización (MBE), es un indicador de la desviación media entre el modelo y los valores medidos, definido como:

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (y_c - y_m)}{N} \quad (2)$$

donde y_c y y_m representan, respectivamente, los valores calculados y los valores medidos y N es el número total de observaciones.

El error medio de la raíz cuadrática (RMSE), es un indicador de las variaciones de los valores calculados alrededor de los valores medidos. Se define de la forma siguiente:

$$RMSE = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N (y_c - y_m)^2}{N} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

El coeficiente de correlación r es una medición de la relación lineal entre los valores calculados por el modelo respectivo y los valores medidos. Se define de la forma:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (y_c - \bar{y}_c)(y_m - \bar{y}_m)}{\left[\left[\sum_{i=1}^N (y_c - \bar{y}_c)^2 \right] \left[\sum_{i=1}^N (y_m - \bar{y}_m)^2 \right] \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (4)$$

donde \bar{y}_c e \bar{y}_m representan respectivamente los promedios de los valores calculados y medidos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Gráficas de la radiación solar global, presión atmosférica, temperatura del aire, humedad relativa, radiación ultravioleta, velocidad del viento y radiación infrarroja, en función del tiempo local, se muestran en las figuras 1 a 7. Las curvas de mejor ajuste trazadas en las gráficas de las figuras 1 a 7, representan los polinomios de tercer grado obtenidos numéricamente por el método de los mínimos cuadrados.

El cuadro 1 muestra los coeficientes de regresión (a_0 , a_2 y a_3), para cada uno de estos parámetros meteorológicos expresados en función de la hora del día, el error medio de polarización (MBE) y el error medio de la raíz cuadrática (RMSE). La dispersión observada alrededor de la curva de regresión es variable en los distintos parámetros climáticos. Una parte de la dispersión se debe a la presencia de nubes o a la precipitación, en el momento en que se hicieron las mediciones. Las mayores dispersiones corresponden a la radiación infrarroja (figura 7), la humedad relativa (figura 4) y la velocidad del viento (figura 6). En las figuras 1 a 7, en cuatro parámetros de los siete analizados, el coeficiente de correlación es mayor de 0,87, lo que da un coeficiente de determinación r^2 mayor del 75%. El mayor coeficiente de correlación (r) alcanza 0,92 para la temperatura (figura 3) y el menor para la radiación infrarroja 0,40 (figura 7).

Los valores del RMSE obtenidos en el cuadro 1, demuestran que la radiación UV, radiación solar global y presión atmosférica son las que modelan mejor con los datos experimentales, mientras la humedad relativa es la que modela peor. Sin embargo, la radiación infrarroja es la que correlaciona peor, porque tiene el r más bajo (figura 7).

Cuadro 1
Coefficientes de regresión para las curvas de mejor ajuste ($y = a_0 + a_1x^1 + a_2x^2 + a_3x^3$)
de las variables climáticas analizadas

<i>Variables climáticas</i>	a_0	a_1	a_2	a_3	<i>MBE</i>	<i>RMSE</i>
Temperatura	-3,22 °C	5,0 °Ch ⁻¹	-0,25 °Ch ⁻²	0,0026 °Ch ⁻³	0,022 °C	0,80 °C
Humedad relativa	181,4 %	-24,35 %h ⁻¹	1,49 %h ⁻²	-0,025 %h ⁻³	-0,111 %	5,93 %
Velocidad del viento	-5,27 ms ⁻¹	1,83 ms ⁻¹ h ⁻¹	-0,12 ms ⁻¹ h ⁻²	0,0022 ms ⁻¹ h ⁻³	-0,048 ms ⁻¹	0,68 ms ⁻¹
Presión atmosférica	863,3 mbar	6,43 mbar h ⁻¹	-0,59 mbar h ⁻²	0,0164 mbar h ⁻³	-0,0165 mbar	0,50 mbar
Radiación global	-4,78 kWm ⁻²	1,22 kWm ⁻² h ⁻¹	-0,084 kWm ⁻² h ⁻²	0,0017 kWm ⁻² h ⁻³	0,0013 kWm ⁻²	0,14 kWm ⁻²
Radiación ultravioleta	-0,19 kWm ⁻²	0,048 kWm ⁻² h ⁻¹	-0,0034 kWm ⁻² h ⁻¹	0,000071 kWm ⁻² h ⁻³	-0,00039 kWm ⁻²	0,0049 kWm ⁻²
Radiación infrarroja	-0,4 kWm ⁻²	0,166 kWm ⁻² h ⁻¹	-0,013 kWm ⁻² h ⁻¹	0,00033 kWm ⁻² h ⁻³	0,000071 kWm ⁻²	0,058 kWm ⁻²

MBE: error medio de polarización, RMSE: error medio de la raíz cuadrática.

El cuadro 1 también muestra magnitudes del MBE muy pequeñas, las cuales oscilan entre $7,1E-5$ (radiación infrarroja) y $-0,048$ (velocidad del viento); lo que demuestra la existencia de un equilibrio entre las desviaciones medias de los valores predichos y experimentales de las variables climáticas. En general, predominan valores negativos del MBE en la penúltima columna del cuadro 1, lo que indica una subestimación de valores predichos.

Radiación solar global

La radiación solar, en un lugar dado, es el producto de factores astronómicos, meteorológicos y geográficos. La variación de la radiación solar, en el tope de la atmósfera, se debe a los factores astronómicos que determinan la intensidad y el número de las horas de brillo solar, durante el proceso de traslación de la Tierra con el Sol. Las

masas de aire y el tipo de nubosidad asociada, determinan la cantidad de radiación solar que es reflejada por las nubes, disminuyendo o impidiendo que ésta llegue a la superficie de la Tierra. Los accidentes geográficos como las montañas, pueden impedir la penetración de los rayos solares o disminuir las horas de sol.

En la figura 1 se muestra la distribución anual de los valores horarios medios mensuales de la radiación solar global medida en una superficie horizontal en Heredia. La distribución diaria presenta una simetría definida: valores máximos entre 10 y 14 horas y valores mínimos en horas cercanas al orto y al ocaso. Los meses de mayor insolación son febrero, marzo y abril, los de menor insolación, setiembre y octubre. El valor promedio para el período en cuestión fue $0,455 \text{ W/m}^2$. Alrededor del mediodía las intensidades horarias máximas y

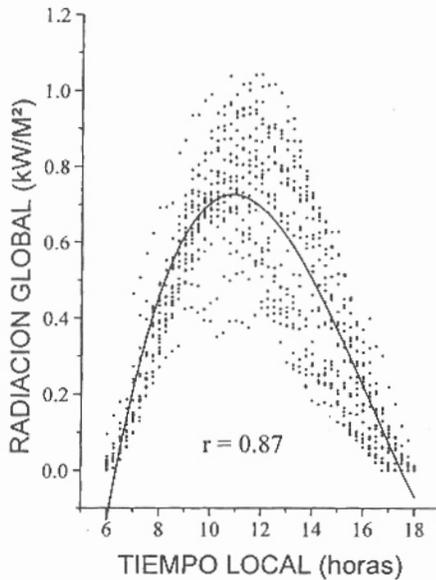


Figura 1. Distribución diaria (entre las 6 y 18 horas) de los datos de radiación solar global obtenidos durante dos años.

mínimas fueron respectivamente 1050 y 380 W/m^2 . Los valores horarios medios mensuales oscilan entre 0,310 kW/m^2 en junio y 0,600 kW/m^2 en marzo.

A mediados de año, se presenta un máximo relativo de radiación solar en el mes de julio, durante los cielos despejados en el veranillo de San Juan (julio-agosto), con valores máximos entre las 9:00 y las 12:00 horas. En los meses más lluviosos (mayo, setiembre y octubre) la radiación solar muestra un sesgo a los valores altos durante las horas de la mañana (8:00 a 12:00), ocasionado por la nubosidad asociada a las tardes (figura 1). Se observan muchos puntos debajo de 0,400 kW/m^2 poco después del mediodía, debido a las pobres condiciones de transmisión atmosférica en la época lluviosa.

Radiación ultravioleta

Aunque la irradiancia ultravioleta es una fracción pequeña de la radiación solar, juega un papel muy importante, debido a sus efectos en la salud. Por esta razón ha sido medida o estimada en diferentes partes (ILYAS y BARTON 1983, NA-

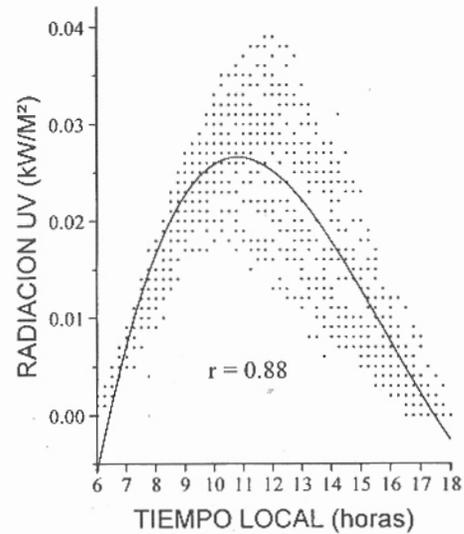


Figura 2. Distribución diaria (entre las 6 y 18 horas) de los datos de radiación global ultravioleta obtenidos durante dos años.

GARAJA RAO y TAKASHIMA 1984, CASTRO 1986, SCOTT *et al.* 1988, WRIGHT y MARENCO 1992, FERNANDEZ *et al.* 1993, WRIGHT y MARENCO 1993, WRIGHT 1993, WRIGHT y MARENCO 1996, WRIGHT 1996).

La figura 2 muestra los valores de radiación UV. Se observa mucha dispersión en los puntos graficados, que se debe a los diferentes niveles de nubosidad. Sin embargo, puede observarse una cierta similitud con la variación diurna de la radiación global (figura 1), a pesar de que entre ellos existe una diferencia que excede un orden de magnitud. El promedio horario mensual para el período en cuestión fue de 0,016 kW/m^2 . La mayoría de los valores horarios medios mensuales están por encima del valor horario medio anual de 0,016 kW/m^2 , con un valor horario máximo de 0,039 kW/m^2 . Valores menores de 0,016 kW/m^2 poco después del mediodía, pueden explicarse por el aumento de la nubosidad por las tardes en la época lluviosa. El cociente porcentual entre promedios horarios de la radiación UV y la radiación solar global para el período en cuestión fue de 8,57%.

Temperatura del aire

La temperatura del aire refleja el estado del balance de calor en la superficie, por lo que también demuestra un marcado ciclo diurno (figura 3). Valores máximos de temperatura se observan todavía a las 14 horas. La temperatura aumenta en la mañana mientras la absorción de energía es mayor que su disipación (véase, por ejemplo, LOWRY 1972, OKE 1986, DICKINSON 1987) hasta llegar a un valor máximo, cuando la tasa de disipación es igual a la tasa con que se recibe energía. Posteriormente, la energía que se disipa es mayor de la que llega y la temperatura comienza a descender. La mínima temperatura ocurre cuando la tasa de disipación es igual a la tasa con que recibe. Sin embargo, es evidente que hay un desfase entre la radiación solar y la temperatura. La temperatura sube en la mañana más rápido de lo que cae en la tarde, produciéndose una asimetría. Lo anterior se debe probablemente a la acumulación de calor por la superficie terrestre y «entrega» lenta por la tarde, actuando el suelo por su gran capacidad como un reservorio térmico que sigue irradiando calor cuando el sol empieza a descender de nuevo. En la época lluviosa, todo ese proceso se realiza a menores temperaturas, porque las nubes tapan al sol y, en

consecuencia, se reduce la cantidad de energía que llega al suelo.

Los valores máximos y mínimos de la temperatura del aire se dieron en los meses de abril ($27,0^{\circ}\text{C}$) y mayo ($23,6^{\circ}\text{C}$), respectivamente, entre las 13 y 14 horas (figura 3).

Humedad relativa

La gráfica de la humedad relativa versus tiempo (figura 4) muestra mucha dispersión en los puntos alrededor de la curva de mejor ajuste, sin embargo, estos puntos manifiestan una definida simetría diurna, con valores máximos en las mañanas y en las tardes y valores mínimos alrededor del mediodía.

El rango de los valores horarios medios mensuales de la humedad relativa para el período en cuestión oscila entre 45 y 85%. El valor horario medio mensual fue de 67,3%. Los valores menores se presentan entre las 10 y 14 horas (figura 4), cuando la radiación solar es mayor, mientras que los mayores se dan entre las 6 y 7 horas y entre las 16 y 18 horas, cuando casi no hay energía solar. Existe una relación inversa entre la curva de temperatura (figura 3) y la de humedad relativa.

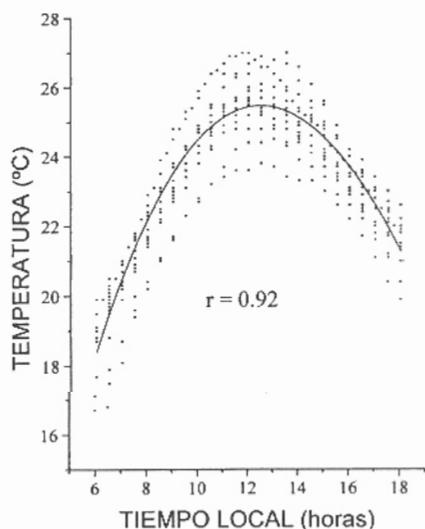


Figura 3. Distribución diaria (entre las 6 y 18 horas) de los datos de temperatura del aire obtenidos durante dos años.

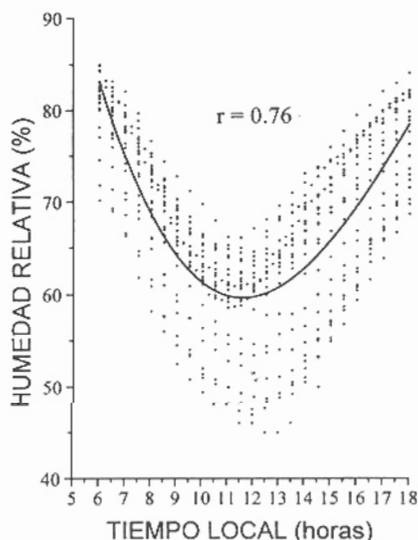


Figura 4. Distribución diaria (entre las 6 y 18 horas) de los datos de humedad relativa obtenidos durante dos años.

En la época seca, la magnitud de la humedad relativa se mantiene baja, en algunos casos debajo del 50%, lo que se explica por la dilatación de la masa de aire. Durante los meses más lluviosos la humedad relativa es más alta y los valores horarios oscilan entre 65 y 85% (figura 4). Estos valores máximos horarios coinciden con la presencia de núcleos de precipitación máxima relativa por la tarde, y con el descenso de la temperatura en el transcurso de la noche y las primeras horas de la madrugada.

En horas del mediodía la máxima y la mínima humedad horaria se dieron en octubre (67%) y abril (45%), respectivamente.

Presión atmosférica

En Heredia, por estar ubicada en la zona ecuatorial, no existen variaciones bruscas de la presión diurna, al no ocurrir ciclones y anticiclones migratorios como en las latitudes superiores a 30. Los registros del barógrafo ponen de manifiesto que en Heredia existe un ritmo de presión determinado por la hora del día. Las presiones tienden a alcanzar valores máximos entre las 8 y 10 horas y valores mínimos entre las 14 y 16 horas (figura 5). La diferencia entre las presiones extremas es sola-

mente de 5 mb, pequeña en comparación con las oscilaciones mucho mayores en las regiones templadas y polares.

Se observa en la figura 5 que la presión tiende a decrecer paulatinamente desde las 9 a.m. (pico máximo) hasta las 3:00 p.m. (pico mínimo). Se esperaría que la radiación solar caliente y dilate la atmósfera, disminuyendo la presión atmosférica y la solubilidad del vapor de agua en el aire y, por lo tanto, la humedad relativa. El desfase existente entre el máximo de radiación solar (figura 1) y el mínimo de la presión atmosférica puede explicarse por el desfase que existe entre la radiación solar y la temperatura (figura 3), por lo que la expansión de la masa de aire y la disminución de la presión atmosférica se dan principalmente en horas de la tarde.

Velocidad del viento

Los valores máximos de la velocidad del viento se dieron entre las 10 y 12 horas (figura 6). Una razón de esto es el aumento del gradiente térmico debido al aumento de la elevación solar, lo que resulta en un incremento de la velocidad del viento. Es interesante observar que el ritmo diurno de la temperatura (figura 3) da lugar a un ritmo

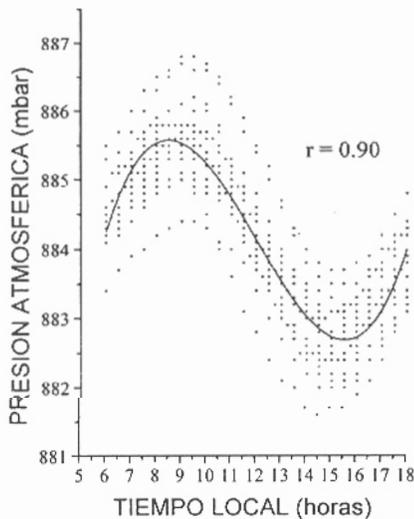


Figura 5. Distribución diaria (entre las 6 y 18 horas) de los datos de presión atmosférica obtenidos durante dos años.

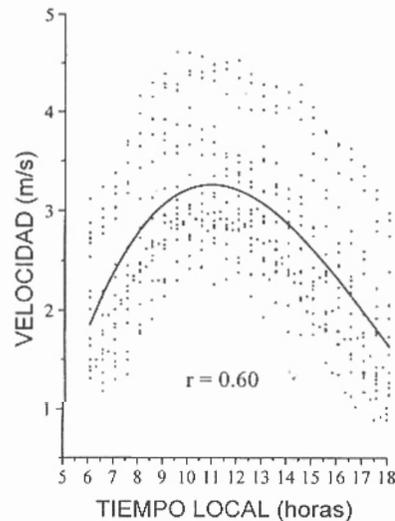


Figura 6. Distribución diaria (entre las 6 y 18 horas) de los datos de velocidad del viento obtenidos durante dos años.

correspondiente en el viento (figura 6). Los valores menores de la velocidad del viento se dieron antes de las 8 a.m. y después de las 4 p.m., cuando disminuyeron la temperatura y la insolación, y aumentó la humedad relativa.

Para el período en cuestión, el mayor valor horario de la velocidad del viento (4,6 m/s) se dio en el mes de marzo, alrededor de las 10 horas, y el promedio horario medio mensual fue de 2,7 m/s. Los valores máximos diarios medios mensuales se dieron en los meses de marzo y diciembre (3,9 m/s), el mínimo en el mes de setiembre (1,9 m/s). A diferencia de otros parámetros meteorológicos, la velocidad del viento presenta mayores variaciones diurnas, debido a fluctuaciones en la presión y temperatura, lo que hace difícil su estimación diaria. El coeficiente de correlación obtenido fue relativamente bajo 0,60 (coeficiente de determinación del 36%), lo que indica mucha dispersión en el ciclo diario de la velocidad del viento (figura 6).

Radiación infrarroja de la atmósfera

Durante los días sin nubes y aerosoles, una buena porción de energía solar se transmite a través de la atmósfera y es absorbida por la superficie de la Tierra. Por otra parte, la energía emitida desde la Tierra, es absorbida considerablemente por dióxido de carbono, vapor de agua y ozono en la atmósfera. La atmósfera absorbe esta energía en todos sus niveles y la remite de acuerdo con su temperatura y emisividad (Ley de Stefan-Boltzman). Esta remisión es tanto hacia arriba como hacia abajo. Este proceso de absorción y remisión es continuo a través de toda la atmósfera, a pesar de que cuantitativamente es más importante en los niveles inferiores, donde es más alta la concentración de vapor de agua y dióxido de carbono. Esta remisión de energía neta hacia abajo, llamada radiación infrarroja (IR) de la atmósfera, contribuye al calentamiento de la superficie terrestre (OKE 1986, KUONAN 1980). En días nublados este efecto se minimiza, porque el contenido de agua en la base de las nubes en los estratos bajos de la troposfera absorbe gran parte de esta radiación IR (LONGLEY 1970).

En la figura 7 se muestra el curso diurno de los valores horarios medios mensuales de la radiación IR emitida por la atmósfera hacia la Tierra.

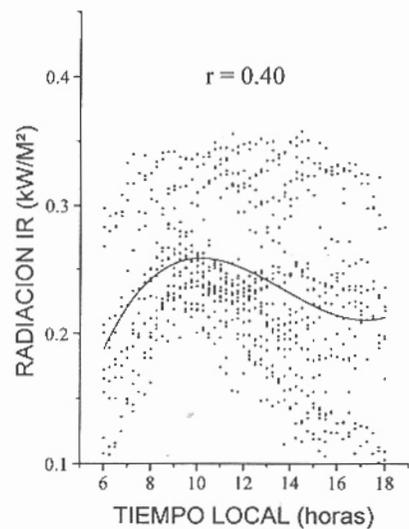


Figura 7. Distribución diaria (entre las 6 y 18 horas) de los datos de la radiación global infrarroja de la atmósfera obtenidos durante dos años.

Los valores mayores de radiación IR corresponden a los meses de menor nubosidad o época seca (enero, febrero, marzo, abril y diciembre), mientras los valores menores a los de mayor nubosidad o época lluviosa (junio, julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre). En días claros, la emisividad infrarroja de la atmósfera hacia la Tierra es mayor que la de la Tierra hacia la atmósfera, resultando en un incremento de la temperatura del aire. En días nublados o lluviosos la atmósfera emite menos radiación IR de la que recibe, resultando en un descenso en la temperatura y en la radiación IR. Se puede inferir que la emisividad IR de la atmósfera depende de las condiciones de transmisión atmosférica locales (cantidad de cielos cubiertos de nubes, cantidad de aerosoles presente en la atmósfera, etc.).

El coeficiente de correlación obtenido entre los valores horarios medios mensuales y la hora local del día fue pobre ($r = 0,40$), lo que da un coeficiente de determinación del 16%. Lo anterior indica que el tiempo local es un pobre predictor para la estimación de los valores horarios medios mensuales de la radiación IR. Para mejorar el valor de r se piensa, en futuros trabajos, hacer estudios

para diferentes tipos de cielos (cielos claros, cielos nublados, cielos turbios, etc.).

CONCLUSIONES

En este trabajo se demuestra que la hora del día en el lugar donde se hicieron las mediciones se puede usar como un parámetro adicional para mejorar la estimación de parámetros climáticos. Se han obtenido expresiones matemáticas que predicen razonablemente el comportamiento de los valores horarios medios mensuales de las siguientes variables climáticas: temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad del viento, radiación solar global, radiación infrarroja y radiación ultravioleta.

Se encontró una pobre correlación ($r=0,40$) entre la radiación infrarroja de la atmósfera y la hora del día, lo que demuestra que la variación diurna de la radiación IR no solamente está asociada con la temperatura sino con otras condiciones de transmisividad atmosférica.

Las ecuaciones presentadas son válidas solamente para el lugar en que se hicieron las mediciones (Heredia, Costa Rica), pero se considera que el procedimiento puede ser aplicado a otras zonas, donde se requiera estimar el comportamiento de las variables climáticas en función de la hora del día.

REFERENCIAS

- Alaruri, S.D. y M.F. Amer. 1993. Empirical regression for weather data measured in Kuwait during the years 1985, 1986 and 1987. *Solar Energy* 50: 229-233.
- Angström, A.K. 1924. Solar and atmospheric radiation, *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 50: 121.
- Cañada J., J.M. Pinazo y J.V. Boscá. 1997. Analysis of weather data measured in Valencia during the years 1989, 1990, 1991 and 1992. *Renewable Energy* 11: 211-222.
- Castro, V. 1986. Método para la estimación de la radiación ultravioleta a partir de registros de radiación solar global. *Cienc. Tec.* 10: 103-106.
- Dickinson, R. 1987. *The Geophysiology of Amazonia: Vegetation and Climate Interactions.* John Wiley & Sons.
- Fernández, W., V. Castro, J. Wright, H. Hidalgo y Alejandro Sáenz. 1993. Changes in solar irradiance and atmospheric turbidity in Costa Rica during the total solar eclipse of July 11, 1991. *Earth, Moon and Planets* 63: 119-132.
- Ilyas, M. y I.J. Barton. 1983. Surface dosage of erythral solar ultraviolet radiation near the equator. *Atmospheric Environment* 17: 2069-2073.
- Iqbal, M. 1983. *An introduction to solar radiation,* Academic Press, Inc.
- Kuo-Nan, Liou. 1980. *An introduction to atmospheric radiation.* Academic Press, Inc.
- Longley, R.W. 1970. *Tratado ilustrado de meteorología.* John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Lowry, W. 1972. *Weather and Life. An Introduction to Biometeorology.* Academic Press, Inc. USA.
- Lund, I.A. 1968. Relationship between insolation and other surface weather observation at Blue Hill, Massachusetts, *Solar Energy* 12: 95.
- Nagaraja Rao, C.R., T. Takashima, W.A. Bradley y T. Young Lee. 1984. Near ultraviolet radiation at the earth's surface: measurements and model comparisons. *Tellus* 36B: 286-293.
- Norris, D.J. 1968. Correlation of solar radiation with clouds, *Solar Energy* 12: 107.

- Oke, T.R. 1986. Boundary layer climates. Methuen & Co. Ltd. USA.
- Scott, J., G. Cotton, F. Urbach, D. Berger y T. Fears. 1988. Biologically effective ultraviolet radiation: surface measurements in the United States, 1974 to 1985. *Science* 239: 762-763.
- Wright, J. 1980a. Estimación de la radiación solar global en Costa Rica utilizando horas de sol y otros datos meteorológicos. *Revista Geográfica de América Central* 11-12: 157-166.
- Wright, J. 1980b. Correlación lineal entre la radiación solar global y algunos parámetros climáticos en Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central* 11-12: 167-172.
- Wright, J. 1993. Variación anual de la radiación solar global ultravioleta en Heredia, Costa Rica. *Revista GEOFISICA* 38: 159-173.
- Wright, J. 1996. Estudio experimental de la radiación ultravioleta en San José, Costa Rica. *UNICIENCIA* 13: 35-43.
- Wright, J. y H. Marengo. 1992. Mediciones experimentales de la radiación ultravioleta en el rango 0,295 mm a 0,385 mm en Costa Rica. *Revista GEOFISICA* 36: 135-150.
- Wright, J. y H. Marengo. 1993. Variación diurna de la radiación solar global ultravioleta con la altitud geográfica en Costa Rica. *UNICIENCIA* 10: 15-24.
- Wright, J. y H. Marengo. 1996. Mediciones de los componentes espectrales de la radiación ultravioleta UV-A y UV-B en Costa Rica. *Revista GEOFISICA* 44: 153-169.