

# LA MEDICION DE LA RADIACION SOLAR EN LA REPUBLICA DEL PARAGUAY

H. Grossi Gallegos\*<sup>+</sup> y G. Atienza  
Instituto de Clima y Agua, CIRN-INTA  
C.C. 25, Villa Udaondo, 1712 Castelar  
Buenos Aires, ARGENTINA

María E. G. de Castel  
Departamento de Innovación Tecnológica y Diseño  
Instituto Nacional de Tecnología y Normalización  
C.C. 967, Asunción, PARAGUAY

## RESUMEN

En noviembre de 1987, como consecuencia de un Programa de Cooperación firmado entre institutos de los dos países vecinos, se instalaron en calidad de préstamo en Paraguay dos estaciones para la medición de la radiación solar global sobre un plano horizontal similares a las integrantes de la Red Solarimétrica de Argentina. En el presente trabajo se presentan detalles de la Red actual, integrada por cinco estaciones piranométricas, como así también los resultados obtenidos de la correlación lineal establecida entre los datos diarios y mensuales de heliofanía y de radiación global medidos en Asunción. Finalmente, se analiza la representatividad temporal de los valores medios mensuales obtenidos.

## ANTECEDENTES

Ya dentro del Informe del Proyecto OEA/BID/PNUD para el Aprovechamiento Múltiple de la Cuenca del Río Pilcomayo se incluyeron en 1977 datos de horas de insolación media de 5 estaciones paraguayas, en base a las cuales se estimó la radiación global promedio, recomendándose aumentar el número de estaciones "en vista de la importancia práctica y teórica de la medición de la energía solar" (1).

Fue así que, como consecuencia de un Programa de Cooperación acordado entre el Instituto Nacional de Tecnología y Normalización (INTN), del Paraguay, y la ex-Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE), de la Argentina, se instalaron en calidad de préstamo en noviembre de 1987 dos estaciones para la medición diaria de la radiación solar global sobre un plano horizontal, similares a las integrantes de la Red Solarimétrica de Argentina, compuestas por un piranómetro de principio termoelectrónico y un integrador electrónico de la señal, ubicándose en Asunción (25°17'S, 57°54'W) y en Pozo Colorado (23°23'S, 58°54'W). Cabe acotar que el mencionado Programa desembocó en un Acuerdo

---

\* Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET.

+ División Física, Dpto. de Ciencias Básicas, UNLu.

Especial de Cooperación Científica y Técnica en el Area de la Energía Solar y Eólica que rubricaron el 26 de abril de 1989 los presidentes de ambos países.

Como parte también del antes mencionado Programa de Cooperación se procedió a estimar la distribución de la radiación solar global en la República del Paraguay (2) en base a los datos de insolación provistos por el Departamento de Climatología del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, utilizándose para ello una relación obtenida en ese entonces en base a valores de la Red Solarimétrica de Argentina (3).

Si bien estos resultados están afectados por un error no ponderado por el hecho de haber utilizado, por un lado, datos de horas de insolación que hasta ese momento no habían sido consistidos espacialmente (4), y por otro, las constantes deducidas a partir de un conjunto de estaciones ubicadas en diferentes latitudes de Argentina, complementados con el análisis de las regiones climáticas y fitogeográficas permitieron determinar los lugares más recomendables para el emplazamiento de las estaciones solarimétricas de manera de permitir una cobertura adecuada, a la vez que minimizar costos.

### RED SOLARIMETRICA EN PARAGUAY

Teniendo en cuenta, además de lo dicho, la existencia de estaciones instaladas en Argentina y Brasil y las que se pensaba instalar en Bolivia, se fijó la ubicación de las estaciones de la red que se indica en la Figura 1.

Para permitir su concreción, Paraguay presentó a la Organización de los Estados Americanos (O.E.A.), junto con Argentina y Bolivia, una propuesta para ser ejecutada dentro del Proyecto Multinacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales en el período 1990-1995. En el mismo se planteaba la instalación de una red solarimétrica subregional, a la par de la adaptación de tecnología apropiada de aprovechamiento solar para su transferencia al sector rural.

Al ser aprobados los fondos para el primer bienio, se adquirieron para la red cinco piranómetros de procedencia francesa marca CIMEL, modelo CE 180, de principio termoeléctrico (5), y cinco integradores electrónicos de señal de procedencia argentina marca HITEC, modelo ISC. Con la colaboración argentina se instalaron en marzo de 1992 las cinco estaciones, ubicándose las en Asunción, Villarrica, Concepción, Saltos del Guairá y km 312 (Pozo Colorado), restando una destinada a Mariscal

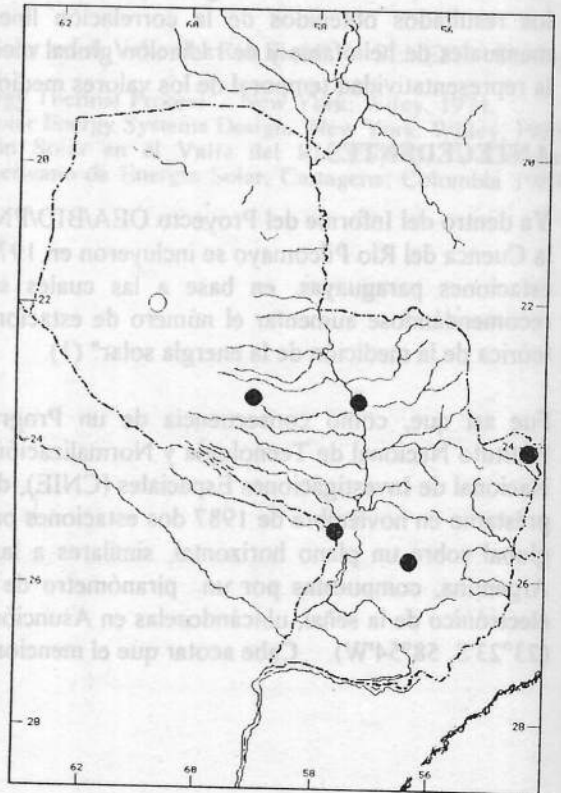


Figura 1. Distribución de estaciones piranométricas en la República del Paraguay.

Estigarribia (la que se espera instalar para fines de 1993).

Posteriormente, en abril de 1992, personal técnico de la Red Solarimétrica de la Argentina se trasladó a Paraguay llevando consigo el radiómetro absoluto de cavidad TMI Mk VI (Kendall) No. 67605 (contrastado en Buenos Aires con el patrón del World Radiation Center de Davos, Suiza, en la Segunda Comparación Regional de la Organización Meteorológica Mundial de Pirheliómetros Patrones Nacionales de la ARIII llevada a cabo entre el 25 de noviembre y el 13 de diciembre de 1991), calibrándose "in situ" todas las estaciones.

Por otra parte, la formación de recursos humanos se canalizó a través del Fondo Argentino de Cooperación Horizontal administrado por la OEA; dentro del Proyecto 054/PY del mismo se incluyó un "Seminario de entrenamiento en la medición de la radiación solar" que se llevó a cabo en Asunción durante la segunda quincena de marzo de 1993, el que contempló actividades de aula y de campo y que estuvo a cargo de profesionales de la Red Solarimétrica de Argentina. Teniendo en cuenta el eco que tuvo en otros organismos y la necesidad de aumentar el número de técnicos capacitados en la temática, se piensa repetir el seminario el próximo año.

### **CORRELACION ESTABLECIDA ENTRE LAS HORAS DE INSOLACION Y LA RADIACION GLOBAL MEDIDAS EN ASUNCION**

Con la finalidad de verificar el grado de aproximación logrado en la estimación de la radiación global realizada con la utilización de las constantes de la correlación establecida en Argentina, a la vez de permitir la recuperación de datos históricos de heliofanía, se procesaron 1431 valores diarios de radiación global medidos en Asunción y los valores de heliofanía correspondientes autoconsistidos.

Se obtuvieron así, para la pendiente y la ordenada al origen de la relación lineal usual, los siguientes valores:

$$b=0,51 \quad a=0,20 \quad r^2=0,93 \quad (a+b=0,71)$$

mientras que los utilizados en el trabajo preliminar habían sido 0,55 y 0,20, respectivamente, por lo que, al menos para Asunción, los valores de radiación global pueden haber sido sobrestimados entre 4,6 y 5% (tomando como base los datos históricos de heliofanía sin consistir).

Analizando mes por mes la correlación lineal se hallan las constantes que se presentan en la Tabla 1 (en la última columna se incluyen los promedios mensuales de la radiación global diaria medida durante este período). Por otra parte, correlacionando los promedios mensuales de ambos parámetros (lo que constituye la relación clásica de Ångström- Prescott) se obtuvieron para la pendiente y la ordenada al origen, a partir de 56 promedios mensuales, los siguientes valores:

$$b=0,42 \quad a=0,25 \quad r^2=0,88 \quad (a+b=0,67)$$

mes	b	a	r <sup>2</sup>	n	a+b	H[MJ/m <sup>2</sup> ]
ene	0,41	0,29	0,90	96	0,70	22,0
feb	0,38	0,32	0,87	98	0,70	21,8
mar	0,44	0,24	0,90	126	0,68	17,4
abr	0,50	0,19	0,95	132	0,69	13,6
may	0,50	0,21	0,93	141 *	0,71	9,2
jun	0,50	0,22	0,93	146	0,72	9,2
jul	0,51	0,21	0,94	157	0,72	11,5
ago	0,48	0,22	0,93	139	0,70	12,4
sep	0,56	0,15	0,95	114	0,71	14,4
oct	0,56	0,16	0,94	92	0,72	17,6
nov	0,56	0,18	0,95	107	0,74	22,8
dic	0,49	0,20	0,90	86	0,74	24,7

Tabla 1. Valores obtenidos en Asunción para una correlación lineal establecida entre los valores diarios mensuales del índice de claridad y de la heliofanía relativa.

## ANÁLISIS DE LA REPRESENTATIVIDAD TEMPORAL

Dado el grado de variabilidad interanual que se observa en los datos medidos en las estaciones piranométricas, es necesario conocer qué tan representativos de la media poblacional ("verdadera") son los promedios calculados a partir de ellos con una muestra de longitud dada.

Como ya se hiciera para algunas estaciones de la Argentina (6) se procesan los datos diarios de Asunción para cada mes. Si en un dado mes se observa la pérdida de cinco o más datos diarios, la muestra es eliminada para evitar el error no acotado que podría introducir en el cálculo del valor medio ese apartamiento de la completitud. Cuando la pérdida es inferior a cinco días se utiliza la heliofanía relativa diaria para completar la serie a través de las correlaciones establecidas.

La expresión utilizada se deriva del Teorema de Tchebycheff y toma la siguiente forma:

$$n \geq v / [(1-NC) e^2]$$

en donde n es la longitud necesaria de la muestra, v es la varianza, e es el nivel de precisión fijado y NC el nivel de confianza requerido.

Una de las posibilidades usuales es fijar el nivel de precisión en un dado valor para todos los meses del año, como por ejemplo 1,5 MJ/m<sup>2</sup>-día, considerando diferentes niveles de confianza (67%, 90% o 95%).

Otra posibilidad es especificar que la diferencia entre el valor verdadero y la media muestral no exceda el error instrumental, que en este caso se estima del 4%.

Para el primer caso, y para un nivel de confianza del 95%, se obtuvieron los resultados que se presentan en la Tabla 2, mientras que para el segundo caso los resultados se

presentan en la Tabla 3 (calculados con niveles de confianza del 67 y del 90%). Cabe destacar que para algunos meses la falta de completitud de la muestra obligó a reducir su longitud, por lo que los resultados obtenidos deben ser considerados como preliminares.

mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
n	9	13	10	9	6	5	6	5	14	16	15	15

Tabla 2. Longitud de los registros (años) necesaria para establecer el valor medio con una diferencia de  $1.5 \text{ MJ/m}^2\text{-día}$  con el valor verdadero con un nivel de confianza del 95%.

mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
n <sub>67</sub>	4	6	7	10	9	11	11	7	13	10	7	8
n <sub>90</sub>	14	19	20	32	30	36	35	22	43	32	20	26

Tabla 3. Longitud de los registros (años) necesaria para establecer el valor medio con una diferencia del 4% con el valor verdadero con un nivel de confianza del 67% y del 90%.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren formular su agradecimiento a la señora Graciela Renzini de Cardoso y al señor Manuel Peralta por su colaboración en el procesamiento de los datos.

## REFERENCIAS

1. OEA/BID/PNUD, Aprovechamiento múltiple de la cuenca del Río Pilcomayo, Tomo II, p. 41, Argentina, Bolivia y Paraguay (1977).
2. H. Grossi Gallegos, M. García, G. Atienza y M. E. Granada de Castel, Estimación de la distribución de la radiación solar global en la República del Paraguay. *Actas de la XI Reunión de Trabajo de la ASADES*, San Luis, Argentina, pp. 197-202 (1986).
3. H. Grossi Gallegos, R. Lopardo, G. Atienza, M. García y M. Peralta, Determinación de la correlación entre la duración relativa de la insolación y la radiación global medida por la Red Solarimétrica. *Actas de la 9na. Reunión de Trabajo de la ASADES*, San Juan, Argentina, pp. 255-260 (1984).
4. G. T. Kempen, Estudio de la insolación en el Paraguay. *Informe del Proyecto OMM-PNUD-PAR 87 006*, Asunción, Paraguay, 33 pp. (1990).
5. H. Grossi Gallegos y G. Atienza, Estudio comparativo del comportamiento de piranómetros de uso poco difundido en Argentina. Informe de avance. *Actas de la V Reunión de la Asociación Argentina de Agrometeorología*, Vaquerías, Córdoba, Argentina, pp. 215-219 (1991).
6. H. Grossi Gallegos y G. Atienza, Acerca de la representatividad temporal de los valores de radiación solar global medidos por la Red Solarimétrica. *Actas de la XIII Reunión de Trabajo de la ASADES*, Salta, Argentina, Vol 1, pp. 101-106 (1988).