

SOBRE LA NECESIDAD DEL ESTUDIO DE LA VARIACION DE
LOS COEFICIENTES DE LA ECUACION DE REGRESION ENTRE
LAS HORAS DE INSOLACION Y LA RADIACION GLOBAL

H. Grossi Gallegos*, G. Atienza+, M. Peralta+ y M. Garcia+

RESUMEN

Las estaciones de la Red Solarimétrica que poseen razonable estadística no son suficientes todavía como para proporcionar una adecuada cobertura del país dada la extensión y variedad climática de Argentina. Es habitual complementar la misma con datos satelitarios o con estimaciones obtenidas a partir de correlaciones establecidas entre las horas de insolación (heliofanía) y el índice de claridad. Con diferentes bases de datos y períodos de promediación se han determinado a través del tiempo diversos pares de valores para las constantes de ajuste de la citada regresión lineal. El presente trabajo pretende remarcar la necesidad del estudio de la variación espacio-temporal de los valores de las constantes mencionadas, como así también la importancia de la clara elección de la base de promediación utilizada.

1. INTRODUCCION

Dada la insuficiente cantidad de datos confiables de radiación solar disponibles en muchas regiones de Argentina, se hace necesario tener en cuenta otros parámetros que permitan completar la base de información. Por ello, en la elaboración de 12 cartas con la distribución espacial del promedio mensual de la radiación global diaria al sur del paralelo de latitud 10°S (1) fue necesario utilizar datos históricos de horas de insolación (heliofanía) medidas en 117 estaciones meteorológicas de Argentina y países vecinos, como así también datos del satélite GOES ya validados en la región (2) y hacer uso de las características de variabilidad espacial del parámetro medido en zonas homogéneas (3).

En sucesivos trabajos llevados a cabo en nuestro país en la década del '70 se establecieron correlaciones entre los datos de radiación solar disponibles entonces y las horas de insolación medidas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de manera simultánea, obteniéndose los valores de las constantes a y b de la recta de regresión.

En uno de los primeros trabajos, realizado correlacionando datos de helioanógrafos y de piranógrafos, se observó que las fluctuaciones de mes a mes, de año a año y de estación a estación no tenían ninguna estabilidad. Posteriormente, y ya con datos piranométricos del SMN obtenidos en cinco estaciones, se trató de detectar diferencias locales y estacionales, estableciéndose para ello, en cada localidad: a) correlaciones mensuales y anuales, año por año; b) correlaciones anuales y mensuales para todo el período; c) correlaciones estacionales (verano, invierno, equinoccio) para todo el período, y d) lo mismo, pero para heliofanía relativa mayor de 0,40. Las variaciones encontradas resultaron también e-

* Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET.

+ Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales, Centro Espacial San Miguel, Avda. Mitre 3100, (1663) Buenos Aires.

rráticas y no se repetían de año a año.

Finalmente se asignó validez única para todo el país a un par de coeficientes (a excepción de zonas de altura) y se los utilizó para determinar las primeras cartas de radiación (7).

En el año 1984, con los todavía escasos datos medidos por la Red Solarimétrica hasta diciembre de 1983 (8), se redeterminaron los valores de los citados coeficientes en base a correlaciones establecidas con los valores relativos diarios de 25 estaciones, promediados sobre cada mes; se explicó la gran dispersión hallada en la correlación en base a la variación espacio-temporal de los coeficientes de ajuste, lo que se ejemplificó con el comportamiento estacional de una localización particular. Se esbozó también allí una cierta regionalización basada en criterios energéticos.

Recientemente, Pracchia y colaboradores (9), urgidos por la necesidad de disponer de un listado de cómoda utilización para métodos simplificados de cálculo de prestaciones energéticas, elaboraron un conjunto de tablas meteorológicas para 118 localidades en las que se incluyó la radiación estimada a partir de una correlación a la que se asignó validez general en todo el territorio y para todos los meses del año. Para ello, procesaron los datos existentes hasta diciembre de 1985 en doce estaciones de la Red Solarimétrica, filtrando los que mostraban un excesivo apartamiento de los valores a largo plazo, y obtuvieron 12 promedios mensuales (a partir de todos los años medidos) para cada una de las 25 estaciones seleccionadas. Con los 144 valores así obtenidos establecieron la correlación lineal entre el promedio del índice de claridad y el promedio de la heliofanía relativa.

Teniendo en cuenta los datos medidos por la Red Solarimétrica hasta diciembre de 1987, el presente trabajo constituye un análisis de la influencia que tiene sobre los valores de las constantes a y b (ordenada al origen y pendiente, respectivamente) el proceso de promediación seguido y, además, de los errores que se pueden cometer al utilizar una relación anual única, despreciando las variaciones intermensuales de los coeficientes.

2. INFLUENCIA DE LA PROMEDIACION EN LA BASE DE DATOS

Se consideraron 23 estaciones de la Red Solarimétrica que poseen datos de horas de insolación y de radiación global medidos simultáneamente; para todas ellas se analizó la influencia del proceso de promediación sobre los valores de las constantes de ajuste de la regresión lineal. Para ello, y sobre un período anual (sin diferenciación de meses), se estableció para cada localización la regresión de tres maneras: a) con datos diarios del índice de claridad y de heliofanía relativa; b) con datos promediados sobre cada década (promedios decádicos) y c) con datos diarios promediados sobre cada mes (promedios mensuales). Se fijó un coeficiente de confianza de ± 0 con respecto a la recta establecida en cada primer corrida del programa, depurándose luego la base de datos y estableciéndose así un nuevo ajuste de la correlación.

De esta manera se obtuvieron pares de valores de pendiente y ordenada al origen, algunos de los cuales se presentan en la Tabla 1 con sus correspondientes incertezas y coeficientes de correlación. En la misma se puede observar el diferente comportamiento de las constantes a y b , ya apuntados por Stanhill en Israel (10) desde una variación prácticamente despreciable en Marcos Juárez hasta variaciones del 55% en b y 30% en a en Colonia Santa Rosa al pasar de los datos diarios a la promediación mensual.

Estación	Valores diarios					Valores decadales					Valores mensuales				
	HR	a	b	a+b	r	HR	a	b	a+b	r	HR	a	b	a+b	r
Marcos Juárez	0.58	0.20	0.56	0.76	0.96	0.57	0.19	0.58	0.77	0.95	0.57	0.20	0.56	0.76	0.95
	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)		(0.01)	(0.01)	(0.02)			(0.01)	(0.02)	(0.03)		
Cerro Azul	0.57	0.15	0.57	0.72	0.95	0.56	0.16	0.56	0.72	0.94	0.57	0.19	0.51	0.70	0.93
	(0.00)	(0.00)	(0.00)			(0.01)	(0.01)	(0.02)			(0.01)	(0.02)	(0.03)		
San Juan	0.70	0.29	0.53	0.82	0.95	0.68	0.24	0.58	0.82	0.93	0.69	0.24	0.60	0.84	0.91
	(0.00)	(0.00)	(0.00)			(0.01)	(0.01)	(0.03)			(0.03)	(0.04)	(0.07)		
El Colorado	0.56	0.19	0.47	0.66	0.92	0.56	0.20	0.44	0.64	0.90	0.57	0.25	0.37	0.62	0.91
	(0.00)	(0.01)	(0.01)			(0.01)	(0.02)	(0.03)			(0.03)	(0.01)	(0.04)		
Alto Valle	0.59	0.22	0.56	0.78	0.95	0.58	0.22	0.54	0.76	0.94	0.59	0.24	0.53	0.77	0.95
	(0.00)	(0.00)	(0.00)			(0.01)	(0.01)	(0.02)			(0.01)	(0.02)	(0.03)		
C. S. Rosa	0.41	0.18	0.56	0.74	0.91	0.43	0.23	0.43	0.66	0.88	0.45	0.26	0.36	0.62	0.88
	(0.00)	(0.01)	(0.01)			(0.01)	(0.02)	(0.03)			(0.01)	(0.03)	(0.04)		

Tabla 1. Valores de las constantes de ajuste de la regresión lineal para diferentes tratamientos de los datos. Entre paréntesis, incerteza de los coeficientes.

Se concluye que no es posible la comparación de coeficientes de correlaciones lineales establecidas con diferente promediación de la base de datos, como es el caso de los resultados hallados en las referencias (8) y (9), debiendo tenerse presente también en el procesamiento de datos que se haga utilizando diferentes fórmulas.

3. INFLUENCIA DE LA VARIACION MENSUAL DE LAS CONSTANTES DE AJUSTE

Con una base de datos más extensa que la de los primeros trabajos es posible determinar tendencias definidas que exceden los límites esperables de variación de las constantes. Como ya lo hicieran notar Modi y Sukhatme (11), la variabilidad de los parámetros a y b dentro del mismo año puede ser muy marcada, habiendo encontrado para la India variaciones relativas de hasta el 200% en a y hasta el 80% en b .

Siguiendo un tratamiento de depuración de los datos similar a la comentada en el párrafo anterior, se promediaron los datos diarios de todos los años sobre los registros de cada mes (ya que la correlación va a ser utilizada con promedios mensuales de heliofanía a largo plazo). Se obtuvieron así 12 pares de valores de constantes de ajuste con sus respectivas incertezas.

Se determinaron luego los valores medios de ambas constantes, como así también sus desviaciones standard. Se calcularon los apartamientos mensuales con respecto a dichas medias, destacándose en la Tabla 2 los apartamientos relativos porcentuales máximos en exceso (ΔR_e) y en defecto (ΔR_d), tanto en la ordenada al origen como en la pendiente para algunas localidades.

Para valorar la influencia de estas variaciones intermensuales sobre las estimaciones llevadas a cabo con expresiones lineales que ignoran la misma se calcularon los valores promedios mensuales del índice de claridad mediante las dos ecuaciones de este tipo utilizadas en nuestro país, esto es, $K_{Te} = 0.20 + 0.55HR$ y $K_{Te} = 0.257 + 0.469HR$. Se calcularon luego los errores relativos al valor calculado con las constantes mensuales ($E.R.P. = K_{Te}/K_{Tm} - 1$), los que se presentan para algunas localidades en las Tablas 3 y 4, y para una de las ecuaciones se representaron en la Figura 1 cinco casos extremos.

Estación	$\Delta R_e(a)$	$\Delta R_d(a)$	$\Delta R_e(b)$	$\Delta R_d(b)$
Rosario de la Frontera	32.5	21.7	13.6	17.6
El Colorado	31.6	26.3	20.3	17.0
Pcia. R. S. Peña	12.3	14.4	15.9	11.2
Cerro Azul	28.8	20.2	11.1	19.4
San Juan	61.7	24.1	17.0	37.6
Rama Caída	27.9	13.2	5.7	17.6
Anquil	39.2	43.2	13.6	16.1

Tabla 2. Máximos apartamientos porcentuales intermensuales de las constantes de ajuste de la ecuación de regresión lineal (ver explicación en el texto).

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
R. de la Frontera	4.3	7.9	2.4	12.1	8.0	13.1	10.4	17.9	7.9	13.1	9.2	2.1
El Colorado	15.3	10.4	10.4	7.9	8.0	10.5	13.1	14.3	14.2	12.8	11.6	7.1
Cerro Azul	12.7	10.4	4.2	4.7	-12.4	-8.7	-10.3	-13.2	-5.8	-8.9	-8.0	-11.8
Mercedes (Ctas.)	-5.0	-2.9	-8.6	-9.9	-6.7	-9.7	-7.3	-7.3	-3.4	-6.1	-5.4	-7.1
San Juan	-10.9	-10.2	-11.9	-11.7	-11.5	-12.2	-8.9	-7.7	-10.2	-12.0	-11.9	-11.8
San Miguel	5.4	-7.1	5.1	4.7	4.6	3.0	4.1	3.7	2.6	5.9	8.1	8.0
Marcos Juárez	-0.4	1.1	-2.2	-0.8	-1.0	-2.4	-0.8	-1.3	0.0	-1.6	1.9	0.4

Tabla 3. Error relativo porcentual (E.R.P. = $\bar{K}_{Te}/\bar{K}_{Tm} - 1$) del valor medio estimado del índice de claridad (\bar{K}_{Te}) con respecto al valor medio medido (\bar{K}_{Tm}) utilizando la ecuación $K_{Te} = 0,20 + 0,55HR$ (HR: heliofanía relativa media) (referencia 8).

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
R. de la Frontera	8.2	12.1	8.5	20.2	11.8	17.1	11.4	15.5	11.2	17.1	13.6	5.9
El Colorado	16.3	11.2	11.2	12.6	11.8	15.8	18.3	17.7	17.0	14.5	13.6	5.0
Cerro Azul	13.7	11.8	5.1	7.3	6.1	7.0	7.3	11.3	10.0	12.6	11.5	10.2
Mercedes (Ctas.)	-4.8	-1.1	-13.5	-8.8	-5.5	-6.3	-5.5	-5.5	-0.9	-4.1	-3.9	-7.1
San Juan	-10.6	-10.6	-11.9	-11.4	-11.9	-11.0	-7.2	-7.8	-10.6	-12.5	-11.9	-11.9
San Miguel	5.6	7.6	6.0	7.3	7.7	7.5	8.2	6.3	5.1	10.2	10.2	4.1
Marcos Juárez	0.4	2.2	-1.4	2.2	2.5	1.5	2.2	0.8	1.5	-0.4	3.5	1.3

Tabla 4. Error relativo porcentual (E.R.P. = $\bar{K}_{Te}/\bar{K}_{Tm} - 1$) del valor medio estimado del índice de claridad (\bar{K}_{Te}) con respecto al valor medio medido (\bar{K}_{Tm}) utilizando la ecuación $K_{Te} = 0,257 + 0,489HR$ (HR: heliofanía relativa media) (referencia 9).

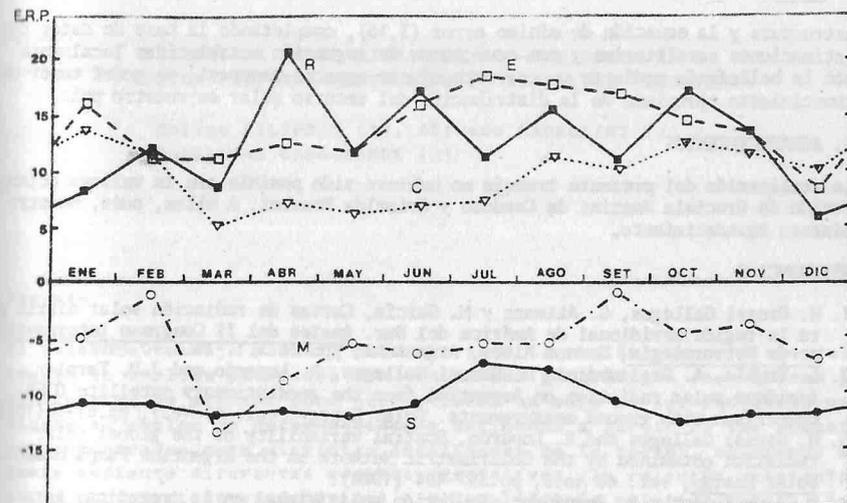


Figura 1. Error relativo porcentual (%) cometido en la estimación de los promedios mensuales del índice de claridad utilizando la ecuación de Pracchia et al (ref.9) que ignora la variación intermensual de los coeficientes de ajuste (R: Rosario de la Frontera, E: El Colorado, C: Cerro Azul, M: Mercedes, S: San Juan).

Se pueden observar tanto sobrestimaciones como subestimaciones que superan, para algunos meses, los márgenes de seguridad habituales utilizados en los modelos simplificados de cálculo de prestaciones energéticas, lo cual obligaría a tener en cuenta esta variación intermensual en algunas regiones del país.

4. COMENTARIOS

La necesidad de utilizar valores estimados de radiación que sean suficientemente confiables justifica extremar los recaudos en el procesamiento de datos meteorológicos tales como las horas de insolación (heliofanía). Tanto las ecuaciones de pretendida validez universal como las generales para zonas que presentan variaciones climáticas importantes deberían ser dejadas de lado y tratar de determinar los coeficientes de ajuste para zonas homogéneas.

Trewartha (12) sugirió una cierta regionalización climática universal y aconsejó el uso de tres pares de coeficientes que fueron luego utilizados por FAO en un estudio realizado para América Latina y el Caribe (13); por otra parte, Lof y colaboradores (14) elaboraron un conjunto de pares de valores, apoyándose en el mapa de climas de Trewartha y en el de vegetación de Kucher, utilizándolos para elaborar su conocido trabajo sobre la distribución mundial de la radiación solar.

Parece necesario establecer en Argentina la variabilidad espacio-temporal de la heliofanía mediante un estudio del comportamiento de la función estructura, determinando en base a él la validez regional de los coeficientes de ajuste de la recta de regresión.

De esta manera, utilizando los valores medidos por la Red Solarimétrica en lugares en los que la longitud de los registros permite conocer el error de estimación (15), interpolando correctamente los mismos mediante el uso de la función

estructura y la ecuación de mínimo error (3,16), completando la base de datos con estimaciones satelitarias y con ecuaciones de regresión establecidas localmente con la heliofanía mediante un correcto ajuste espacio-temporal, se podrá tener un conocimiento apropiado de la distribución del recurso solar en nuestro país.

5. AGRADECIMIENTOS

La realización del presente trabajo no hubiera sido posible sin la valiosa colaboración de Graciela Renzini de Cardoso y Griselda Roselot. A ellas, pues, nuestro sincero agradecimiento.

REFERENCIAS

1. H. Grossi Gallegos, G. Atienza y M. García, Cartas de radiación solar diaria para la región meridional de América del Sur. Anales del II Congreso Interamericano de Meteorología, Buenos Aires, Argentina, pp. 16.3.1.-16.3.10 (1987).
2. L. Frulla, A. Gagliardini, H. Grossi Gallegos, R. Lopardo and J.D. Tarpley, Incident solar radiation on Argentina from the geostationary satellite GOES: comparison with ground measurements. Solar Energy, vol. 41 No.1, pp.61-69(1988).
3. H. Grossi Gallegos and R. Lopardo, Spatial variability of the global solar radiation obtained by the Solarimetric Network in the Argentine Pampa Humeda. Solar Energy, vol. 40 No.5, pp.397-404 (1988).
4. M.C. de Kurlat y R. Fernández, Radiación solar global en la Argentina. Acta Científica N° 19, ONFCSM, Buenos Aires, Argentina, 55p. (1970).
5. E.S. Crivelli y H. Abeledo, Posibilidades de trazar cartas de radiación global en la Argentina a partir de datos de heliofanía. Meteorológica, vol.II, pp. 86-93 (1971).
6. H. Abeledo, M. Carazo de Kurlat y R. Fernández, Relación entre la duración relativa de la insolación y la radiación global en la Argentina. Meteorológica vol. IV, Nos. 1,2,3, pp. 31-43 (1973).
7. E. Crivelli y M.A. Pedregal, Cartas de radiación solar global de la República Argentina. Meteorológica, vol. III, Nos. 1,2,3, pp. 80-97 (1972).
8. 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. 251-266 (1984).
9. J.A. Pracchia, A.R. Fabris y A. Rapallini, Tabla de datos meteorológicos para 118 localidades de la República Argentina, necesarias para el dimensionamiento de sistemas solares: metodología y ejemplos. Presentado en la 12ma. Reunión de trabajo de la ASADES, Buenos Aires, Argentina, 23-27 de noviembre de 1987.
10. J. Stanhill, (1965), listado por E.T. Linacre (Climate and evaporation from crops. ASCE Irrigation and Drainage Div.93: 61-79 (1970)) y citado por A. Decicco y J.M. Santos (Consideraciones sobre el potencial de radiación solar global, Atas do 2º Congresso Latinoamericano de Energia Solar, Joao Pessoa, Brasil, vol. III, pp.925-935 (1979)).
11. V. Modi and S. Sukhatme, Estimation of daily total and diffuse insolation in India from weather data. Solar Energy, vol.22, pp. 407-412 (1979).
12. G. Trewartha, Elements of physical geography. Mc.Graw Hill, U.S.A. (1957).
13. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Datos agroclimatológicos para América Latina y el Caribe. FAO: Producción y Protección Vegetal N° 24, Roma, Italia (1985).
14. G.O.G. Lor, J.A. Duffie and C.G. Smith, World distribution of solar radiation. Solar Energy, vol. 10, pp. 27-37 (1966).
15. H. Grossi Gallegos y G. Atienza, Acerca de la representatividad temporal de los valores de radiación solar global medidos por la Red Solarimétrica. Presentado en la 13ra. Reunión de Trabajo de la ASADES, Salta, Argentina, 25-28 de octubre de 1988.
16. R. Czelnai, Minimum-error interpolation by structure functions. IDOJARAS, vol. 75, N° 5-6 (1971).