

ALGUNOS COMENTARIOS SOBRE EL MODELO DE SUEHRCKE Y SU APLICACIÓN EN ARGENTINA

H. Grossi Gallegos^{1*}, A. Roberti², G. Renzini¹, V. Sierra^{1**}

¹Red Solarimétrica, Servicio Meteorológico Nacional

²Centro de Investigaciones San Miguel, Dirección General de Sistemas FAA

Avda. Mitre 3100, (1663) San Miguel, Buenos Aires, ARGENTINA

Telefax: (54-11) 4455 6762 , E-mail: grossi@postmast.edu.ar

RESUMEN: El objetivo de este trabajo es analizar las condiciones de validez y aplicabilidad del modelo de Suehrcke en Argentina con el fin de utilizarlo como alternativa para el trazado de nuevas cartas con la distribución espacio-temporal de la irradiación global que tengan mejor resolución espacial ya que se utilizaría una base mayor de información como es la heliofanía. Se concluye que la optimización de su uso se lograría utilizando valores del índice de claridad determinados localmente, lo que implica la necesidad de una regionalización de los escasos valores que se disponen.

Palabras clave: irradiación, estimación, heliofanía, Argentina, Suehrcke.

INTRODUCCIÓN

El interés en el conocimiento apropiado de la distribución de la irradiación solar global que se recibe sobre la superficie de la Tierra ha estado motivado por diversos factores a través del tiempo, pero en los últimos 30 años se centró en su posible aporte para paliar la crisis energética, en la década del '70 (a la par de hallar una salida sostenible de baja contaminación), y en la necesidad de entender mejor el Cambio Climático Global (CCG), en las décadas de los '80 y los '90. Alcanzada en general la primer meta con redes de tierra de precisión aceptable o con estimaciones obtenidas a partir de instrumental meteorológico de rutina o de registros satelitales (si bien siempre puede ser discutible la calidad del producto), no se ha atendido adecuadamente en nuestros países la continuidad de las mediciones con el objeto de atender a cuestiones relacionadas con el interés climatológico o con la posible variación de este parámetro con el tiempo, asociado a otras variables meteorológicas.

Como ya dijéramos en otras en otras oportunidades (por ejemplo, Grossi Gallegos y Righini, 2002; Roberti *et al.*, 2002), han sido tan pocos los avances a nivel mundial logrados en el tema de la evaluación apropiada de la distribución espacio-temporal de la irradiación solar global que se volvió a poner atención en los datos de heliofanía (también denominada horas de sol o de brillo solar) a fin de utilizarlos como base para estimarla a través de nuevos modelos (Suehrcke, 2000) o de antiguas correlaciones como la de Ångström-Prescott, con coeficientes más precisos y regionalizados.

El modelo desarrollado por Suehrcke es simple y vuelve a las fuentes al retomar el concepto de día claro, utilizando en su deducción la ecuación establecida por Page (1961) para estimar la fracción de irradiación difusa en base al índice de claridad. Este modelo fue ensayado a escala mundial por Driesse y Thevenard (2002) y localmente por Torres y Fasulo (2002) utilizando un único coeficiente medio de claridad de día claro con un valor de 0.70, mostrándose que su comportamiento era adecuado, que la irradiación estimada presentaba una gran dispersión (12% en promedio, en el trabajo citado en primer término) y que no quedaba en claro estadísticamente que su capacidad predictiva superara a la de los viejos métodos. Debe tenerse en cuenta que así utilizada no abarca la diversidad de condiciones locales que pueden afectar a la radiación solar que llega a la superficie, por lo que consideramos necesario derivar localmente este tipo de correlaciones.

MATERIALES Y METODO

En primer lugar, dedicaremos un espacio a analizar las condiciones de validez de la ecuación deducida por Page y luego aplicaremos el modelo de Suehrcke utilizando para el índice de claridad de día claro valores determinados localmente en Argentina.

Page consideró los promedios mensuales de irradiación solar global y difusa medidos durante períodos de diferente extensión (de 12 a 60 meses) en 10 estaciones ubicadas a diferentes alturas (de 5 a 1700 m s.n.m.) y bajo condiciones climáticas diversas entre las latitudes 40°N y 40°S, y estableció para cada una relación lineal entre los promedios de la fracción de irradiación difusa a global en función del promedio del índice de claridad. Los valores obtenidos para la pendiente iban de 0.72 a 1.20, mientras que los de la ordenada al origen variaban entre -0.95 y -1.43; promediando directamente estos valores obtuvo su conocida relación:

* Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET

** Miembro de la Carrera del Personal de Apoyo del CONICET

$$\overline{K_d} = \frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} = 1.00 - 1.13 \overline{K_t} \quad (1)$$

siendo una de las dificultades a solucionar en el trabajo el saber si se había aplicado correctamente la corrección por banda sombreadora.

Posteriormente fueron establecidas otras relaciones más elaboradas (mostrando considerable dispersión en los valores, como lo evidenció el estudio de Collares-Pereira y Rabl publicado en 1979, en el que establecieron otra relación no lineal y dependiente de la época del año), pero un trabajo de Ma e Iqbal (1984) determinó que la de Page era la más simple y a la vez precisa.

En vista de que en San Miguel se disponía de valores horarios simultáneos de irradiación difusa y global que nunca habían sido utilizados, tomados con piranómetros termoelectricos durante los años 1982, 1983 y 1985 y almacenados automáticamente, se procedió a analizarlos con el fin de establecer una base de datos confiable. Fue así que se eliminaron aquellos valores que presentaban segmentos horarios inconsistentes, se corrigieron los valores de irradiación difusa por la fórmula de Drummond (1956), que supone una distribución isotrópica en la bóveda celeste, y se calcularon los cocientes diarios de irradiación difusa (H_d) sobre global (H) a fin de eliminar los que superaban la unidad. Hecho esto, se calcularon los promedios mensuales de esta fracción y del índice de claridad $K_t = H/H_0$, simbolizando H_0 la irradiación solar fuera de la atmósfera, estableciéndose una relación lineal que resultó ser:

$$\overline{K_d} = \frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} = 1.36 - 1.11 \overline{K_t} \quad (2)$$

con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.72$.

Verificada dentro de esos límites la validez de la relación lineal y, en consecuencia, de la derivación efectuada por Suehrcke, se encaró su evaluación en estaciones de la Red Solarimétrica en las que se contaba con valores diarios simultáneos de radiación global y de heliofanía. Vale la pena recordar que, para estimar la irradiación global media, este modelo relaciona la heliofanía relativa media con los valores medios de la irradiación global registrada en días claros, esto es:

$$\frac{\overline{n}}{\overline{N}} = \left(\frac{\overline{K_t}}{\overline{K_c}} \right)^2 \quad (3)$$

en donde $\overline{K_c} = \overline{H_c} / \overline{H_0}$ es el índice medio de claridad de días claros, n el número de horas de brillo de Sol registradas en un heliógrafo de Campbell-Stokes y N la duración teórica del día medida en horas.

Un factor de incerteza, que motivara la modificación introducida por Prescott en la primitiva ecuación de Ångström, es la determinación del “día claro”; lo habitual es suponerlo sin nubes, a pesar de existir una gran variedad de valores de irradiación global diaria compatibles con este tipo de días dependiendo de la cantidad de aerosoles y de humedad en la atmósfera.

Para tratar de utilizar alguna metodología apropiada, analizamos los valores de cobertura de nubes obtenidos en estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.); por lo general, las mismas se practican en 3 o 4 oportunidades a lo largo del día, siendo pocas las estaciones que cuentan con registros horarios. Consideramos los valores leídos a las 8, 14 y 20 horas (que corresponden a las 9, 15 y 21 locales) y analizamos su distribución a través de un año; por lo que se puede ver en la figura 1, las lecturas muestran una distribución en “U”, por lo que no tendría sentido calcular valores medios sino sus medianas.

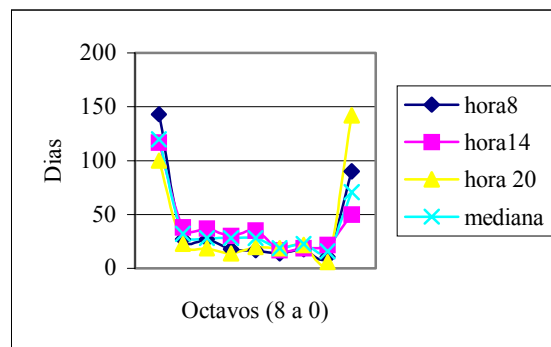


Figura 1. Distribución de las lecturas de cobertura de nubes efectuadas a diferentes horas durante un año en la estación San Miguel, Provincia de Buenos Aires.

Por otra parte, analizamos la correspondencia entre las lecturas de cobertura 0 o 1/8 tomadas a las 14 horas (a las que consideramos más representativas por su posible incidencia sobre los registros de irradiación global que las otras dos) y el índice de claridad diario, observando que la mayoría de las lecturas corresponden a valores de K_t comprendidos entre 0.60 y 0.70 (figura 2), por lo que se decidimos considerar como valores de K_c a todos aquéllos mayores o iguales que 0.60.

RESULTADOS

En base a este criterio, utilizamos este valor para filtrar los datos diarios de 21 estaciones de la Red Solarimétrica que fueron consideradas para este estudio y calculamos entonces el valor medio mensual del índice de claridad de días claros (informamos aquí sólo de los resultados correspondientes a los meses de enero y julio).

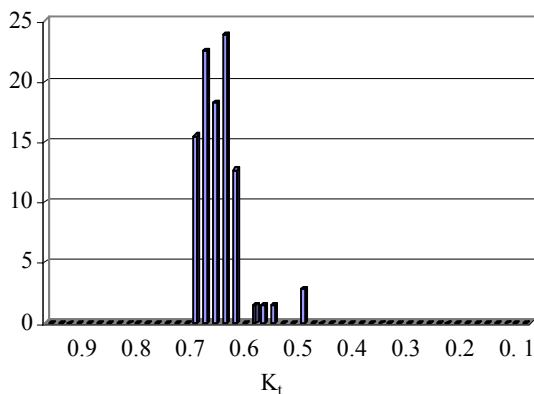


Figura 2. Distribución porcentual de los valores del índice de claridad para cobertura de nubes 0 o 1/8 correspondientes a las lecturas de las 14 horas en la estación San Miguel a lo largo de un año, en función del índice de claridad K_t .

Obtuvimos así valores medios del índice de claridad para día claro que van de 0.63, en julio en Rosario de la Frontera y en enero en El Colorado, hasta 0.81 en julio en Abrapampa y, lo que fue más sorprendente, 0.84 en Marcos Juárez en julio (tabla 2, página siguiente). Esta variedad de valores refleja las características regionales y estacionales en las que tantas veces hemos insistido y que pueden enriquecer el uso de este tipo de correlaciones tan simples.

Lo que hicimos a continuación fue estimar para cada estación, para los mencionados meses de enero y julio, los valores medios de la irradiación global con el modelo de Suehrcke, utilizando en primer lugar el valor de 0.70 para el promedio del índice de claridad correspondiente a días claros para todos los meses y para todas las estaciones ($H_{est\ 0.70}$); y en segundo lugar, estimamos estos valores utilizando en cada estación y para cada mes los valores determinados localmente ($H_{est\ local}$). Los resultados se encuentran agregados en las últimas columnas de la tabla 2 de la siguiente página).

Para comparar los errores cometidos en las estimaciones calculamos para los meses de enero y julio separadamente, y para todas las estaciones, las diferencias entre los valores estimados y los medidos, relativas al valor medido (error relativo), las elevamos al cuadrado y promediamos, obteniendo luego la raíz cuadrada para tener de esta manera un calificador adimensional de la bondad de las estimaciones; esto es:

$$E (\%) = 100 \left(\frac{\sum_{i=1}^n (H_{estimado} - H_{medido})^2 / n}{H_{medido}} \right)^{1/2} \quad (4)$$

Un resumen de los resultados obtenidos se muestra en la tabla 1.

Período	$K_c = 0.70$	K_c local
Mes de enero	7.3	4.3
Mes de julio	13.2	9.8

Tabla 1. Errores relativos porcentuales promedio cometidos en las estimaciones efectuadas por el método de Suehrcke utilizando un índice de claridad medio único (0.70) o el determinado para cada estación y para cada mes.

Se puede observar que para los dos meses elegidos, que suelen corresponder a los valores máximos y mínimos de la irradiación solar global, la estimación efectuada con el método de Suehrche con coeficiente fijo (esto es, 0.70) difiere más de

la medida con piranómetro de lo que lo hace la efectuada con el mismo método pero utilizando el valor promedio del índice de claridad correspondiente a días claros determinado localmente.

Estación	Mes	K_c _{promedio}	H_{medida} [MJ/m ²]	n/N _{promedio}	$H_{est\ 0.70}$ [MJ/m ²]	$H_{est\ local}$ [MJ/m ²]
San Miguel	ene	0.66	24.0	0.87	28.2	26.6
	jul	0.65	7.8	0.83	11.0	10.2
Cnia. Santa Rosa	ene	0.67	18.6	0.71	27.4	26.2
	jul	0.68	9.9	0.79	12.6	12.2
Famaillá	ene	0.65	20.6	0.76	27.8	25.8
	jul	0.65	9.7	0.81	12.2	11.3
R. de la Frontera	ene	0.64	18.3	0.69	26.7	24.4
	jul	0.63	11.0	0.80	12.3	11.1
Abra Pampa	ene	0.69	25.3	0.72	27.7	27.3
	jul	0.81	19.0	0.83	12.0	15.0
Cerrillos	ene	0.64	19.3	0.75	27.9	25.5
	jul	0.66	11.4	0.81	12.5	11.8
Paraná	ene	0.66	23.4	0.84	28.3	26.7
	jul	0.68	9.8	0.82	11.4	11.1
La Rioja	ene	0.66	21.3	0.77	27.6	26.0
	jul	0.69	10.3	0.77	11.5	11.4
Oliveros	ene	0.68	20.6	0.75	26.6	25.8
	jul	0.64	7.6	0.82	11.3	10.3
San Juan	ene	0.70	27.8	0.78	27.3	27.3
	jul	0.76	10.7	0.77	11.1	12.1
Anguil	ene	0.69	24.8	0.81	26.8	26.4
	jul	0.66	7.1	0.78	10.2	9.7
Alto Valle	ene	0.67	25.4	0.83	26.5	25.4
	jul	0.66	6.6	0.76	9.6	9.0
Balcarce	ene	0.68	23.7	0.70	24.6	23.9
	jul	0.66	6.8	0.71	9.5	9.0
Cerro Azul	ene	0.65	20.6	0.87	29.6	27.5
	jul	0.68	9.7	0.84	12.3	12.0
El Colorado	ene	0.63	20.5	0.86	29.7	26.7
	jul	0.65	8.3	0.70	11.5	10.6
El Sombrerito	ene	0.68	24.0	0.86	29.5	28.6
	jul	0.70	10.9	0.81	12.1	12.1
La Consulta	ene	0.66	21.9	0.83	27.7	26.1
	jul	0.72	8.4	0.78	10.8	11.1
Marcos Juárez	ene	0.67	23.7	0.82	27.8	26.6
	jul	0.84	9.0	0.71	10.5	12.6
Mercedes	ene	0.70	25.4	0.84	28.8	28.8
	jul	0.73	11.6	0.85	12.1	12.7
Rama Caída	ene	0.68	25.2	0.80	27.0	26.3
	jul	0.69	9.6	0.76	10.5	10.3
Trelew	ene	0.67	26.3	0.69	23.3	22.2
	jul	0.66	6.2	0.68	12.8	12.0

Tabla 2. Valores del promedio del índice de claridad correspondientes a días claros determinados para 21 estaciones de la Red Solarimétrica en los meses de enero y julio, valores medios de irradiación solar global medidos y valores medios de irradiación solar global estimados por el método de Suehrcke utilizando un valor fijo de 0.70 para el índice de claridad de día claro y utilizando los valores determinados localmente para dicho índice.

COMENTARIOS

El nuevo método desarrollado por Suehrcke, que ya fuera ensayado anteriormente, es considerado como una alternativa válida para estimar los valores promedios de la irradiación solar global sobre un plano horizontal y para poder luego trazar nuevas cartas de su distribución temporal con quizás mejor resolución espacial (Righini y Grossi Gallegos, 2003) ya que se utilizaría como información de base la heliofanía, variable de la que se disponen datos de gran extensión temporal en muchas más estaciones que las que miden radiación global.

Si bien no quedó en claro en los otros trabajos ya citados si el uso del modelo mejora en algo los resultados de la estimación realizada por la clásica ecuación de Ångström-Prescott, pensamos haber puesto en evidencia la necesidad de utilizar índices de claridad determinados localmente para optimizar su potencialidad. Como no se dispone en Argentina de esta posibilidad con toda la cobertura espacial deseable, va a ser necesario efectuar una cierta regionalización de los resultados hallados para cada mes de manera de poder utilizar el modelo de Suehrcke a fin de obtener cartas de radiación que mejoren las ya existentes.

REFERENCIAS

- Collares-Pereira M. and Rabl A. (1979) The average distribution of solar radiation - Correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. *Solar Energy* **22**, 155-164.
- Driesse A. and Thevenard D. (2002) A test of Suehrcke's sunshine relationship using a global data set. *Solar Energy* **72**, 2, 167-175.
- Drummond A. J. (1956) On the measurement of sky radiation. *Arch. Meteor. Geophys. Bioklim* **7**, 413-436.
- Grossi Gallegos H. y Righini, R. (2002) Acerca de la distribución de la heliofanía en Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **6,2**, 11.37-11.41 versión CD-ROM.
- Ma C. C. Y. and Iqbal M. (1984) Statistical comparison of solar radiation correlations – Monthly average global and diffuse radiation on horizontal surfaces. *Solar Energy* **33**, 2, 143-148.
- Page J. (1961) The estimation of monthly mean values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40°N-40°S. *Proc. UN Conf. On New Sources of Energy*, Paper No. 35/5/98, pp. 378-389.
- Righini R. y Grossi Gallegos H. (2003) Aproximación a un trazado de nuevas cartas de irradiación solar para Argentina. Aceptado para su presentación en la XXVI Reunión de Trabajo de la ASADES y su publicación en *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **7**, versión CD-ROM.
- Roberti, A. Renzini, G. Sierra V. y Grossi Gallegos H. (2002) Primeros resultados del análisis estadísticos de los datos de heliofanía en la Argentina. *Avances en Energías Renovables* **6**, 2, 11.31-11.35.
- Suehrcke H. (2000) On the relationship between duration of sunshine and solar radiation on the earth's surface: Ångström's equation revisited. *Solar Energy* **68**, 5, 417-425.
- Torres Deluigi, M. y Fasulo, A. (2002) Aplicación y evaluación experimental de la ecuación de Suehrcke para calcular la fracción de días claros a través del índice de claridad. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **6**, 2, 11.19 – 11.24.

SOME COMMENTS ABOUT SUEHRCKE'S MODEL AND ITS APPLICATION IN ARGENTINA

H. Grossi Gallegos, A. Roberti, G. Renzini, V. Sierra

ABSTRACT – The purpose of this paper was to analyze the conditions of validity and applicability of Suehrcke's equation to obtain new global irradiation charts for Argentina with better spatial resolution than existing ones. We concluded that its use could be optimized with locally determined clear index.

Key words: irradiation, estimates, sunshine hours, Argentina, Suehrcke.