

TRAZADO DE NUEVAS CARTAS DE IRRADIACIÓN SOLAR DIRECTA NORMAL PARA LA ARGENTINA ESTIMADAS A PARTIR DE HORAS DE BRILLO SOLAR (HELIOFANÍA)

Hugo Grossi Gallegos, Eduardo Coquet
PSL, Castelar, 1712 Buenos Aires, ARGENTINA, hugogrossi.1@gmail.com

RESUMEN: A partir de las cartas mensuales ya existentes con la distribución de valores promedio de las horas de insolación (heliofanía) en Argentina y del uso de una correlación establecida localmente entre los promedios mensuales de la irradiación solar directa normal y de la heliofanía efectiva se trazaron 12 cartas de baja resolución con la distribución espacial de la irradiación solar directa normal. Resultaron similares a 2 existentes a nivel nacional, pero sus valores difieren apreciablemente de mediciones locales y de la base de datos de NASA. Se analizan las posibles causas.

Palabras clave: irradiación solar directa normal, heliofanía, correlación, cartas mensuales, Argentina.

INTRODUCCIÓN

La producción de energía eléctrica mediante sistemas termosolares de concentración se realiza a partir del aprovechamiento de la radiación solar directa. Estas centrales para la producción de electricidad o aplicaciones químicas implican diseños que tienden a aproximarse a la del concentrador parabólico ideal. Habitualmente se usan concentradores solares por reflexión para alcanzar las temperaturas requeridas en la operación de los ciclos termodinámicos o los procesos químicos.

Las centrales termosolares no tienen todavía la aceptación y el uso comercial que sería deseable, aún siendo, según se demuestra en un estudio independiente promovido por el Banco Mundial, las tecnologías de concentración solar como la forma más económica de producir electricidad a gran escala a partir de la energía solar (<http://www.idi.mineco.gob.es>).

En nuestro país hace ya varios años que el INENCO está trabajando en el desarrollo de un generador solar térmico de tipo Fresnel lineal para la producción de vapor para usos industriales y/o generación eléctrica (Saravia *et al.*, 2014). Se registran ya otras aplicaciones del sistema para, por ejemplo, la destilación de agua en la zona de Malargüe (Esteves *et al.*, 2015).

Para poder evaluar el funcionamiento detallado de estas centrales y el comportamiento que tendrán a través del tiempo es necesario un adecuado conocimiento de la irradiación solar directa en el lugar. A diferencia de la irradiación global, que mostró que con unos pocos años se puede tener un conocimiento adecuado de su promedio anual (Grossi Gallegos *et al.*, 2014), del análisis de las anomalías relativas de los valores anuales de irradiación directa en las 4 estaciones que tiene más de 25 años de registro en los EEUU de Norteamérica se pudo ver que el tiempo de convergencia para los promedios anuales de la irradiación directa resultó ser de 5 a 15 años: esta componente es altamente variable y mucho más sensible a las variaciones meteorológicas atmosféricas (Gueymard and Wilcox, 2009; Wilcox and Gueymard, 2010).

A pesar de que en países vecinos se comenzó hace ya unos años a medir la irradiación solar directa con equipos y tiempos de integración adecuados, en Argentina se cuenta con escasos períodos de medición. En el Laboratorio de Energía Solar (LES) de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL) durante el periodo 2000-2004 se midió en base horaria con un pirheliómetro Eppley NIP (Raichijk *et al.*, 2009; Raichijk y Fasulo, 2010); por otra parte, en la ciudad de Salta (campo de pruebas del INENCO) se midió también la irradiación directa normal con un pirheliómetro Eppley NIP, desde agosto de 2009 hasta junio de 2010, con una frecuencia de 1 minuto (Salazar *et al.*, 2010). Además, desde enero de 2011, en la Estación Solarimétrica de la Universidad Nacional de Luján (UNLu) se utiliza un seguidor solar Kipp & Zonen SOLYS 2 controlado por GPS para medir la irradiación solar normal directa cada minuto con un pirheliómetro Eppley NIP. Se pueden agregar a éstas la registrada en Ushuaia durante los años 1995-2000 dentro del programa de Vigilancia Atmosférica Global-VAG (Grossi Gallegos *et al.*, 2006).

Hace unos pocos años se comenzó a ejecutar el proyecto ENARSOL que, con la financiación obtenida del FONARSEC y la responsabilidad del consorcio integrado por la UNLu, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) e Y-TEC (inicialmente YPF), contempla la instalación de algo más de 30 estaciones solarimétricas en todo el país destinadas a medir automáticamente con instrumental de primera clase las tres componentes de la radiación solar: global, directa y difusa. Actualmente se hallan instaladas alrededor de una docena, dos de ellas ya operativas.

Mientras se generan bases de datos de extensión razonable para ser utilizadas en la selección de lugares de emplazamiento, la validación local de modelos satelitales o en una simulación detallada del funcionamiento de una planta de generación, se produjeron varios trabajos tendientes a presentar metodologías alternativas para poder disponer de cartas con la distribución espacio-temporal de los promedios de la irradiación solar directa normal. En ese sentido se pueden citar los trabajos de Raichijk *et al.* (2008) y Raichijk (2013). En el primero de ellos se presentaron para Argentina cartas preliminares de los

valores medios mensuales de irradiación directa sobre plano horizontal y de irradiación directa normal, obtenidos mediante la aplicación de correlaciones empíricas de descomposición a partir de cartas de irradiación global media mensual publicadas en trabajos anteriores, para los meses de Enero y Julio; en el segundo se fusionaron para la región de la Pampa Húmeda valores medios históricos de irradiación directa normal de origen satelital de libre disponibilidad con valores estimados mediante correlaciones de descomposición a partir de datos de irradiación solar global obtenidos en estaciones de la Red Solarimétrica Regional de la UNLu y se generaron 4 cartas con los valores medios mensuales.

El objetivo de este trabajo es aprovechar el material ya producido en Argentina y elaborar en base a él otras cartas alternativas de baja resolución, comparables a las de irradiación global media existentes (Grossi Gallegos, 1998; Righini *et al.*, 2004), con la distribución espacial de los promedios de la irradiación solar directa normal, a fin de poner a disposición una herramienta más de aproximación a la versión que se pueda trazar una vez que los datos registrados en tierra lo permitan, a la vez de validar el uso de estos recursos.

MATERIALES Y MÉTODO

Stanhill (1998) correlacionó linealmente los promedios de la irradiación normal directa mensual con los promedios de horas de brillo solar o heliofanía efectiva media mensual en dos localidades con distintos valores medios de irradiación y diferentes condiciones climáticas. Con una base de 191 casos en una estación de Israel y de 192 en otra de Irlanda, estableció correlaciones lineales con errores medios relativos de 9,1 % a 12,1 % y coeficientes de determinación iguales a 0,96 y 0,91 respectivamente. A su vez, analizó correlaciones comunes a ambas estaciones, tanto de tipo lineal como cuadrática, obteniendo para el caso lineal una regresión con un error medio relativo de 11% y un coeficiente de correlación de 0,97. La forma de la misma fue:

$$Hbn [MJ/m^2] = 2,209 n - 0,955 \quad (1)$$

en donde *Hbn* es el valor medio mensual de la irradiación solar directa normal diaria y *n* las horas medias mensuales de brillo solar. Vale la pena comentar que, al calcular Stanhill las regresiones lineales de los valores medios para años individuales, encontró pequeñas diferencias en los parámetros de su ecuación (por ejemplo, el valor medio hallado para la pendiente en 16 regresiones fue de 2,133 con un desvío estándar de $\pm 0,14$).

Teniendo en cuenta estos resultados, Raichijk y Grossi Gallegos (2010) utilizaron datos de irradiación solar normal directa obtenidos mediante pirheliómetros Eppley de incidencia normal (NIP) ubicados en Ushuaia, Argentina (estación de Vigilancia Atmosférica Global-VAG) y en Botucatu, Brasil (estación de Radiometría Solar de la Universidad Estadual Paulista).

Para la estación de Ushuaia (56 casos) obtuvieron la siguiente correlación lineal:

$$Hbn [MJ/m^2] = 2,526 n - 0,266 \quad (2)$$

mientras que para Botucatu (118 casos) la expresión que se obtuvo fue:

$$Hbn [MJ/m^2] = 2,304 n - 0,299 \quad (3)$$

La correlación lineal común hallada (válida para $1 \leq n \leq 9,5$) fue:

$$Hbn [MJ/m^2] = 2,201 n + 0,583 \quad (4)$$

con un coeficiente de determinación $R^2=0,86$ y un error cuadrático medio relativo del orden de 13,3 %.

Años antes, Righini y Grossi Gallegos (2005) encararon el análisis de la distribución de la heliofanía, tanto efectiva cuanto relativa, utilizando técnicas geoestadísticas ("kriging") para interpolar sus valores medios mensuales. Emplearon valores históricos de 131 estaciones de Argentina, 16 de Brasil, 7 de Paraguay y 23 del sur de Chile (la información considerada de estos últimos países corresponde a ubicaciones confiables cercanas a la frontera, las que fueron seleccionadas para dar continuidad a las isolíneas de heliofanía más allá de los límites políticos). Para asegurar la representatividad de los promedios para la mayoría de las estaciones, dentro de la incerteza de la medición, se utilizaron series con más de 30 años de datos.

La zona del NOA fue analizada con especial cuidado debido a que existen en ella mayormente registros de estaciones situadas a poca altura respecto al nivel del mar. Sin embargo esta región presenta altitudes importantes en vastas áreas, por lo que considerar solamente los datos de las estaciones disponibles podría generar una distorsión en los mapas que los aleje significativamente de la realidad. Para intentar salvar este inconveniente estudiaron en dicha zona la dependencia de la heliofanía efectiva con la altura durante todos los meses; encontraron así que la misma era aproximadamente lineal, obteniendo las pendientes y las ordenadas al origen de las rectas de correlación para cada uno de los meses analizados. Con dichos valores estimaron promedios de heliofanía efectiva para sitios ubicados a alturas representativas de vastas zonas de la Puna Argentina y Boliviana (para hacer válida su extrapolación, seleccionaron en general ubicaciones correspondientes a salares de altura), valores que posteriormente fueron incorporados al análisis realizado empleando la metodología geoestadística ya mencionada. De esta manera se redujo la inhomogeneidad de la distribución inicial, disminuyendo la

incerteza generada por la interpolación espacial utilizada, la que puede considerarse así similar a la del trabajo realizado para Uruguay por Grossi Gallegos *et al.* (2010), esto es, del orden del 6 %.

El resultado fueron 12 cartas con la distribución espacial del promedio mensual de las horas diarias de brillo solar. Existen singularidades en algunos mapas (es decir zonas que presentan valores locales de heliofanía claramente diferentes de un entorno extenso y homogéneo) que deberían ser analizados con el objetivo de identificar si se trata de valores reales o de la influencia de estaciones cuyos datos sean poco confiables en los meses considerados. Tales casos son especialmente identificables en las cartas de los meses de Septiembre y Octubre.

No se dispuso entonces de información de la Dirección Nacional de Meteorología del Uruguay (Grossi Gallegos *et al.*, 2010) que con sus 11 estaciones hubiera modificado levemente el trazado de las isocías en la región de Buenos Aires, en particular las de los meses de Enero, Marzo, Septiembre, Octubre y Noviembre, produciendo un corrimiento de las curvas costeras hacia el Este.

Por otra parte, en un trabajo realizado por Raichijk *et al.* (2006) se obtuvo como resultado que los promedios mensuales de heliofanía registrados en las estaciones argentinas están estimados con un error de 7,04%. Como ambas fuentes de incerteza pueden ser supuestas independientes, la suma en cuadratura arroja el valor de la incerteza de las cartas con la distribución espacial de los promedios mensuales de la heliofanía efectiva: $((0,06)^2 + (0,07)^2)^{1/2} = 0,092$, esto es 9,2%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Suponiendo válida para toda la región la correlación (4), se la aplicó a las cartas con la distribución de los valores medios de heliofanía en Argentina descriptas poco más arriba. En las Figuras 1 y 2 se presentan las 12 cartas obtenidas para la distribución espacial de los promedios mensuales de la irradiación solar directa normal para Argentina (los valores están expresados en kWh/m²).

Teniendo en cuenta las incertezas ya mencionadas para las cartas de heliofanía efectiva y para la regresión lineal (4), se puede estimar que los valores hallados tienen una incerteza aproximada de 16,2 %.

La comparación entre todas las cartas existentes es difícil por haberse utilizado distintas metodologías y, en algunos casos, también resolución espacial muy diferente. De todas maneras, puede considerarse que las presentadas para los meses de Enero y Julio en el trabajo de Raichijk *et al.* (2008) con cobertura nacional presentan resultados similares a las presentes. Comparados con los valores estimados por NASA esas cartas arrojaron a nivel nacional para Enero desvíos cuadráticos medios relativos de 30-31% y de 38-39% para Julio, mientras que el desvío cuadrático medio anual fue de 19,2%.

Por otro lado, los promedios del Laboratorio de Energía Solar (33,27°S; 66,35°O) de la Universidad Nacional de San Luis que se presentan en la Tabla 1 muestran una buena coincidencia con los valores de las isocías determinados en el presente trabajo, excepto en Diciembre (ver Figuras 1 y 2).

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Hbn[kWh/m ²]	5,1	5,7	4,5	4,3	3,8	3,1	3,2	4,1	4,3	5,3	6,1	6,7

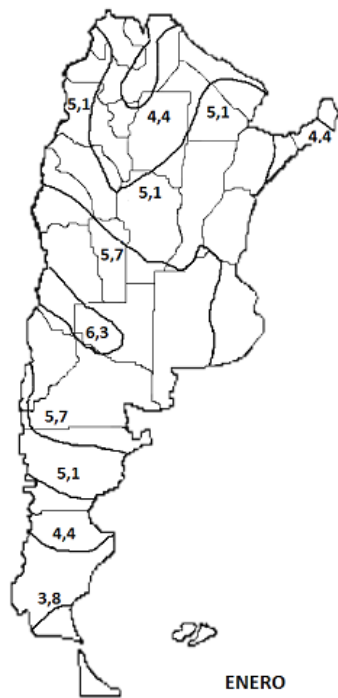
Tabla 1: Promedios mensuales de la irradiación solar directa normal registrados en el Laboratorio de Energía Solar de la Universidad Nacional de San Luis.

Analizando la base de datos mensuales depurados registrados en San Luis que fueran utilizados por Raichijk *et al.* (2009) en su trabajo, es dable observar una marcada falta de completitud: ninguno de los meses utilizados (51 promedios) presenta más del 50% de los valores diarios. Tomando como referencia los valores estimados por la NASA, el desvío cuadrático medio relativo, RMSE%, y el sesgo relativo medio, RMBE%, de los promedios mensuales de la irradiación directa normal medidos en San Luis resultaron ser 28,5 % y -27,3% respectivamente para el año completo.

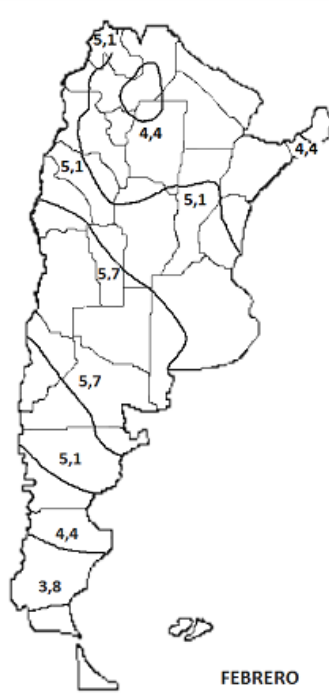
Sin embargo, los valores estimados por Raichijk (2013) para la Pampa Húmeda no presentan buena coincidencia con las cartas presentadas aquí. Al cotejar valores obtenidos en su trabajo con mediciones pirheliométricas de radiación directa normal registradas en Luján, observó para el periodo enero 2011-junio 2012 un desvío cuadrático relativo medio anual de 13,1% y un sesgo relativo medio anual de 10,4% si se comparan los valores fusionados con medias históricas de la NASA. Estos resultados, que indican una subvaloración de los valores estimados respecto a los medidos, muestran desvíos levemente superiores a los que se observan al comparar valores medios satelitales con los registrados en Luján en el periodo analizado pero mucho menores si se comparan con valores estimados en el trabajo anterior de Raichijk *et al.* (2008).

COMENTARIOS

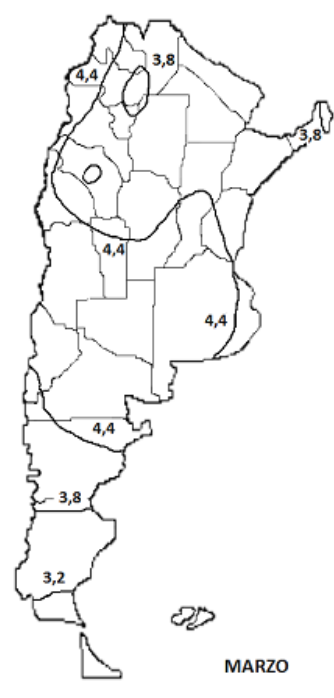
Se presentan 12 cartas con la distribución de los valores medios mensuales de la irradiación solar directa normal diaria estimados a partir de mapas de heliofanía efectiva media y del uso de una correlación lineal hallada localmente entre ambos parámetros. El valor de este trabajo es haber utilizado datos registrados en tierra en Argentina y otras publicaciones realizadas anteriormente con ellos, a la vez de permitir completar las otras cartas mensuales restantes utilizando el mismo procedimiento. Como ya se dijo, puede considerarse que las presentadas para los meses de Enero y Julio en el trabajo de Raichijk *et al.* (2008) con cobertura nacional mostraron resultados similares a las presentes en sus formas, pero difieren algo en sus valores (en especial, en Julio). La diferencia es mucho mayor si se comparan con los registros de NASA.



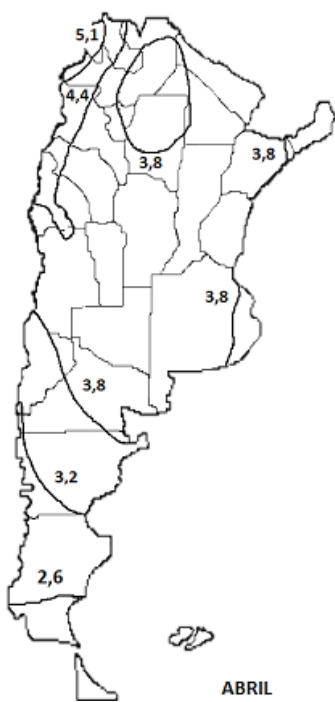
ENERO



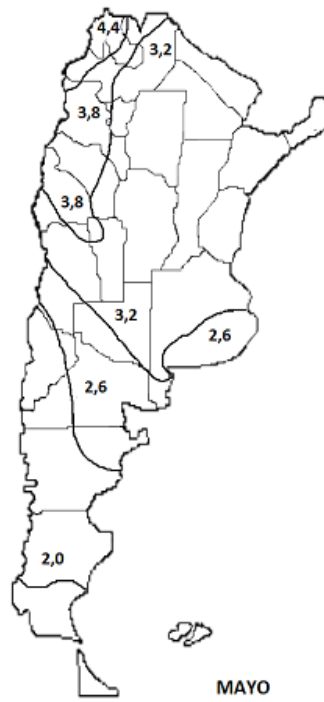
FEBRERO



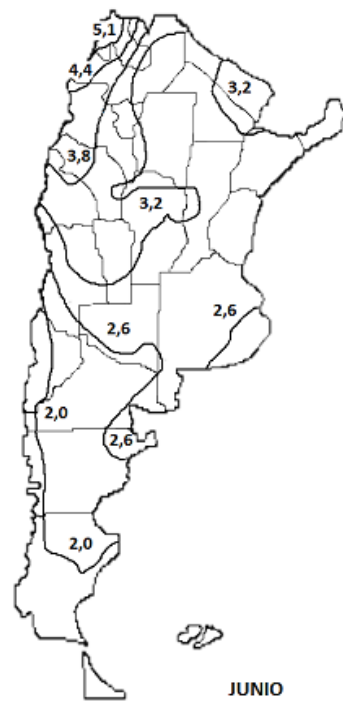
MARZO



ABRIL



MAYO



JUNIO

Figura 1: Distribución espacial del promedio mensual de la irradiación solar directa normal diaria en Argentina para los meses de Enero, Febrero y Marzo (arriba), Abril, Mayo y Junio (abajo). Las unidades utilizadas son kWh/m².



Figura 2: Distribución espacial del promedio mensual de la irradiación solar directa normal diaria en Argentina para los meses de Julio, Agosto y Septiembre (arriba), Octubre, Noviembre y Diciembre (abajo). Las unidades utilizadas son kWh/m².

Como ya se dijo, los valores estimados por Raichijk (2013) para la Pampa Húmeda no presentan buena coincidencia con las cartas presentadas. El instrumental utilizado en Luján fue calibrado con un pirheliómetro absoluto TMI que participó de la

XII Intercomparación Pirheliométrica Internacional llevada a cabo del 28 de septiembre al 16 de octubre de 2015 en Davos, Suiza, sede del Observatorio Físico-Meteorológico y Centro Mundial de Radiación (PMOD/WRC), en donde se comparó su comportamiento con el Grupo Estándar Mundial, verificándose su correcta respuesta dentro de la incerteza exigida. Si bien la base de datos de Luján es muy corta y sin días faltantes, esta calibración le da un peso especial al trabajo realizado por Raichijk (2013).

Si se comparan solamente los escasos promedios considerados para esta estación (18 valores) con la celda de NASA correspondiente a sus coordenadas (34,59°S; 59,06°O), el desvío cuadrático medio relativo, RMSE%, y el sesgo relativo medio, RMBE%, de los promedios mensuales de la irradiación directa normal diaria medidos resultaron ser, en el balance anual, 10,2 % y -1,9% respectivamente.

Para tratar de explicar el aparente ajuste de los valores registrados en San Luis con las cartas aquí presentadas se decidió analizar la incidencia de la falta de completitud de los promedios mencionados mediante la aplicación de una metodología similar a la utilizada por Grossi Gallegos y Coquet (2016) con los valores diarios de irradiación global diaria de la ex Red Solarimétrica.

Para ello, se tomaron los registros diarios de la UNLu (si bien, una base escasa pero completa) para los meses de Enero, Abril, Julio y Octubre de 2011. En primer lugar, se pudo observar que los coeficientes de variabilidad de la irradiación directa son mucho más elevados que los de la irradiación global, reflejando la sensibilidad de esa componente a las variaciones meteorológicas atmosféricas (Enero: 47,0%; Abril: 64,4%; Julio: 63,9%; Octubre: 74,6%), lo que hace esperar un rápido apartamiento de los promedios calculados con meses completos.

Al agrupar secuencialmente las pérdidas de días consecutivos se ha podido detectar más fácilmente y de manera más acentuada el efecto del faltante de varios días autocorrelacionados (esto es, con valores similares); la incerteza relativa introducida en los promedios de irradiación directa de cada mes por la pérdida de datos diarios consecutivos crece rápidamente al aumentar el número de faltantes (la falta de 10 días de irradiación solar directa generó incertezas relativas entre -10,5% y 11,5% en Enero, -10,6% y 8,5% en Abril, -17,5% y 20,8% en Julio y -10,6% y 29,8% en Octubre). Cabe mencionar que para 15 días faltantes las incertezas generadas en Octubre variaron entre -22,8% y 40,5%.

Estas incertezas podrían explicar el aparente ajuste de los datos de la estación San Luis con las cartas presentadas en este trabajo y, a la vez, el apartamiento de los valores estimados por la NASA, siempre superiores a los aquí presentados.

Pero analizando los promedios de los años considerados en San Luis se pudo observar que los promedios de los 2 primeros (2001 y 2002) son superiores a los de los dos segundos (2003 y 2004) en valores que van de 34% al 67%. Comparando entonces los promedios de los años 2001 y 2002 con la base de la NASA se observó que presentan un buen ajuste, con un error cuadrático medio anual de 14,7% (en este caso, la correlación lineal resulta ser $H_{bn} [MJ/m^2] = 2,45 n + 2,12$).

La conclusión final entonces es que la correlación utilizada en este trabajo no tiene validez en todo el territorio argentino sino solamente en las cercanías de las estaciones en las que fue determinada, exhibiendo un buen comportamiento dentro de una zona de hasta aproximadamente 1000 km de distancia (para Misiones y Comodoro Rivadavia los valores del desvío cuadrático medio relativo anual con NASA alcanzan en esos límites 21% y 33%, respectivamente).

De todas maneras, vale la pena recordar que el análisis de regresión realizado por la NASA entre los valores medios mensuales estimados de la base SSE (Surface meteorology and Solar Energy) y los de la BSRN (Baseline Surface Radiation Network) entre julio de 1983 y junio de 2006 arrojó un valor aproximado al 21% para la región comprendida entre los 60° y el ecuador (<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?skip@larc.nasa.gov+s06#s06>). Sin embargo, no se cuenta lamentablemente hasta el momento con ninguna estación de la BSRN en Argentina, siendo la más próxima y con estadística razonable la de Florianópolis (27,60°S; 48,52°O), Brasil.

Para finalizar, debe recalcar la importancia de disponer de series de datos más extensas y completas en nuestro territorio para poder realizar determinaciones del parámetro con menor incerteza para así ajustar localmente los modelos para datos satelitales y comparar con las estimaciones de las bases internacionales de considerable peso estadístico como las de NASA y SWERA.

REFERENCIAS

- Esteves A., Quiroga N., Buenanueva F., Sosa R. (2015) Producción de agua destilada con sistema solar de condensador separado y concentrador de Fresnel *Acta de la XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente* vol. 3, pp. 03.117-03.125.
- Grossi Gallegos H. (1998) Distribución de la radiación solar global en la República Argentina. II. Cartas de radiación. *Energías Renovables y Medio Ambiente* vol. 5, pp. 33-42.
- Grossi Gallegos H., Roberti A., Sierra V. (2006) Análisis de los datos de radiación solar disponibles en Ushuaia, Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* vol. 10, pp. 11.09-11.14.
- Grossi Gallegos H., Raichijk C. y Righini R. (2010), Algunos aspectos de la climatología solar del Uruguay. *Revista Brasileira de Meteorología* vol. 54, N° 4, pp. 479-486.
- Grossi Gallegos H., Coquet E. y Spreafichi M. I. (2014) Análisis de las series temporales de irradiación solar global en vista de la utilización del sol como una fuente de energía. *Energías Renovables y Medio Ambiente* vol. 33, pp. 7-14.

- Grossi Gallegos H. y Coquet E. (2016) Influencia de la pérdida de datos sobre los promedios de irradiación solar global. Enviado para su evaluación a fin de ser publicado en el *Acta de la XXXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*.
- Gueymard C. and Wilcox S. (2009) Spatial and Temporal Variability in the Solar Resource: Assessing the Value of Short-Term Measurements at Potential Solar Power Plant Sites (2009). *Proc. Solar 2009 Conference*, Buffalo, NY, American Solar Energy Soc.
- Raichijk C., Grossi Gallegos H. y Righini R. (2006) Variabilidad espacial de la heliofanía (duración de la insolación) en la Pampa Húmeda argentina, Uruguay y sur del Brasil. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 19, pp. 33-37.
- Raichijk C., Grossi Gallegos H., Righini R. (2008) Cartas preliminares de irradiación directa para Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 12, pp. 11.01 -11.07.
- Raichijk C., Fasulo A., Grossi Gallegos H. (2009) Estudio de validación de las correlaciones para la fracción difusa de la irradiación solar en San Luis. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 13, pp. 11.17 -11.24.
- Raichijk C. y Fasulo A. (2010) Estudio de la turbidez atmosférica en San Luis. *Energías Renovables y Medio Ambiente* (ISSN 0328-932X) vol. 25, pp. 23-28.
- Raichijk C. y Grossi Gallegos H. (2010) Correlaciones empíricas de la irradiación solar normal directa con la heliofanía efectiva. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* (ISSN 0329-5184), vol. 14, pp. 11.17-11.22.
- Raichijk C. (2013) Cartas de radiación solar directa normal para la pampa húmeda argentina. En el *Acta de la XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 1, pp. 11.47-11.53.
- Righini R., Grossi Gallegos H., Raichijk C. (2004) Trazado de nuevas cartas de irradiación solar global para Argentina a partir de horas de brillo solar (heliofanía). *Energías Renovables y Medio Ambiente* vol. 14, pp. 23-31.
- Righini R. y Grossi Gallegos H. (2005) Distribución de la heliofanía en Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Agrometeorología (RADA)*, volúmenes 3-4, años 2003-2004, pp. 1-7.
- Salazar G. A., Raichijk C., Farfan F. (2010) Estimación del coeficiente de turbidez β de Ångström a partir de mediciones de irradiancia global y directa. Caso de estudio: ciudad de Salta (Argentina). *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 14, pp. 11.57-11.61.
- Saravia L., Gea M., Hongn M., Hoyos D., Bárcena H., Placco C., Cadena C., Flores Larsen S., Dellicompagni P., Condori M., Martínez C., Fernández C., Caso R., Altamirano M., Suligoy H. (2014) Descripción de un generador solar térmico de tipo Fresnel instalado en San Carlos, Salta. *Acta de la XXXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente* vol. 2, pp. 03.67-03.76.
- Stanhill G. (1998) Estimation of direct solar beam irradiance from measurements of the duration of bright sunshine. *Internat. J. of Climatology*, 18, 3, 347 – 354.
- Wilcox S. and Gueymard C. (2010) Spatial and Temporal Variability of the Solar Resource in the United States. *Proc. of Solar 2010 Conf.*, Phoenix, AZ, American Solar Energy Soc.

ABSTRACT: From existing monthly charts with the distribution of average values of sunshine hours in Argentina and the use of a correlation established locally between daily monthly mean values of direct normal solar irradiation and the duration of bright sunshine were generated 12 low-resolution charts with the spatial distribution of normal direct irradiation. They were similar to 2 previous existing at national level, but their values differ appreciably from local measurements and from NASA data base. Possible causes are analyzed.

Key words: normal direct solar irradiation, sunshine hours, correlation, monthly charts, Argentina.