



COMPARACIÓN DE VALORES SATELITALES DE IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL CON DATOS DE TIERRA EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

C. Raichijk

GERSolar, Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable (INEDES), Departamento de Ciencias Básicas,
Universidad Nacional de Luján, Ruta 5 y Avda. Constitución, (6700) Luján,
Buenos Aires, ARGENTINA, Tel./Fax: (54-2323) 440241, E-mail: gersolar@yahoo.com.ar

RESUMEN: En este trabajo se comparan valores satelitales medios mensuales de irradiación solar global e irradiación global de día claro de $1^\circ \times 1^\circ$ de resolución espacial, publicados por NASA y de libre acceso, con datos de tierra medidos simultáneamente en distintas localidades de la República Argentina. Se obtienen desvíos cuadráticos medios relativos que varían para los distintos meses del año entre 5,3 y 24,4% para la irradiación global y entre 3,6 y 18,3% para la irradiación global de cielo claro, dependiendo fuertemente del grado de inhomogeneidad topográfica y climática del lugar. Los sesgos medios relativos hallados muestran en todos los casos una sobreestimación del parámetro por parte del dato satelital. Se concluye que esta información puede ser un complemento válido del dato de tierra sólo para zonas planas y homogéneas climáticamente.

Palabras clave: irradiación global, estimación satelital, Argentina.

INTRODUCCIÓN

La irradiación solar global en superficie es un dato necesario para el diseño y evaluación de sistemas aplicados. Recientemente se ha publicado en el país el Atlas de Energía Solar de la República Argentina (Grossi Gallegos y Righini, 2007) donde se presentan cartas con la distribución mensual de los promedios diarios de la irradiación solar global y de las horas de brillo solar (heliofanía efectiva). Para la elaboración de las primeras se procesó toda la información disponible en el país hasta el año 1997, proveniente de 28 estaciones piranométricas y de 24 estaciones heliográficas, mientras que para las segundas se tuvieron en cuenta las series de 30 años de datos (1960-1990) procedentes de 131 estaciones argentinas, complementadas con las de otros países vecinos. La baja densidad de este tipo de redes hace necesario interpolar o extrapolar los datos obtenidos en las distintas estaciones cuando se busca generar cartas con la distribución espacial de un parámetro. El estudio de la variabilidad espacial de los datos suministrados en este caso por la Red Solarimétrica y la Red del Servicio Meteorológico Nacional permitió evaluar la precisión y validez de los resultados obtenidos.

Una alternativa a los métodos de interpolación-extrapolación de datos de redes de tierra es la utilización de información de origen satelital. La precisión de los valores satelitales dependerá de su resolución espacial, es decir, del tamaño del pixel o unidad más pequeña que puede distinguirse en la imagen. El valor del parámetro asociado a cada pixel se obtiene promediando los valores de dicho parámetro en todos los puntos del pixel. Por lo tanto, para valores satelitales de irradiación solar asociados a pixeles de gran tamaño, una acentuada variabilidad climática y topográfica en la región podrá significar niveles elevados de incerteza en la información suministrada. Grossi Gallegos (1999) comparó valores satelitales de irradiación solar global publicados libremente por NASA, correspondientes al Surface Solar Energy (SSE) Data SET versión 1.0, con datos de tierra en distintas localidades de la República Argentina. Esta base de datos está constituida por valores diarios medios mensuales promediados para un período de 46 meses (marzo de 1985 a diciembre de 1988) con una resolución espacial de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ (aproximadamente 280×280 km). Se obtuvieron al comparar dicha información con datos de tierra valores del error cuadrático medio relativo que van de 3,7% a 24,8% dependiendo del grado de inhomogeneidad del lugar.

En este artículo, continuando con el trabajo antes mencionado, se comparan valores medios mensuales de irradiación solar global e irradiación solar global de cielo claro publicados por NASA en el Surface Radiation Budget (SRB) Project- REL3.0 data set (disponibles juntos a otros parámetros radiativos en http://eosweb.larc.nasa.gov/PRODOCS/srb/table_srb.html) con datos de tierra en 5 localidades del país. La resolución espacial en este caso es mayor, de $1^\circ \times 1^\circ$ (aproximadamente 100×100 km) y se suministran valores medios para todos los meses correspondientes al período 1983-2007. Estos valores han sido generados a partir del algoritmo de Pinker (Pinker and Laszlo, 1992) y para evaluar la calidad de los mismos se han comparado con valores de tierra en las estaciones pertenecientes a la Baseline Surface Radiation Network (BSRN) para el período 1992-2005, obteniéndose un error cuadrático medio absoluto de $0,36 \text{ KWh/m}^2 \cdot \text{día}$ al considerar todas las estaciones con latitudes menores a 60° N y S y todos los meses del año. Cabe destacar que esta Red de Referencia está constituida a la fecha por 43 estaciones distribuidas en todo el mundo; la más cercana a nuestro país es la estación de Florianópolis en Brasil, operativa desde junio de 1994, ubicada en una zona urbana sobre la costa Atlántica con topografía montañosa. A partir del año 2006 (fuera del período de análisis considerado para esta base de datos) se incorporaron en Sudamérica las estaciones de Brasilia, Petrolina, Rolim de Moura y São Martinho da Serra, todas en Brasil.

MATERIALES Y MÉTODO

Con el objeto de poder comparar datos diarios medios mensuales de tierra con valores satelitales, tanto de irradiación solar global (\bar{H}), como de irradiación solar global de día claro (\bar{H}_c), se han seleccionado estaciones ubicadas bajo distintas condiciones climáticas y topográficas, que a su vez contarán con la mayor cantidad de datos simultáneos de irradiación global y heliofanía en el período 1983-2007. El \bar{H}_c para cada estación se calcula empleando la correlación de Suehrcke (2000):

$$\frac{\bar{n}}{N} = \left(\frac{\overline{K_t}}{\overline{K_c}} \right)^2 = \left(\frac{\overline{H}}{\overline{H_c}} \right)^2 \quad (1)$$

donde $\overline{K_t} = \bar{H}/\overline{H_0}$ es el índice medio de claridad, $\overline{K_c} = \overline{H_c}/\overline{H_0}$ el índice medio de claridad de días claros, n el número de horas de brillo de sol registradas en un heliógrafo de Campbell-Stokes (heliofanía efectiva) y N la duración teórica del día medida en horas. Las estaciones analizadas se presentan en la Tabla 1.

Estaciones	Lat (°)	Long(°)	Altura (m)
Rafaela	-31,28	-61,55	100
Paraná	-31,78	-60,48	110
S. Miguel	-34,55	-58,73	26
Cerro Azul	-27,65	-55,43	283
Cerrillos	-24,90	-65,48	1250

Tabla 1. Descripción de las estaciones analizadas.

La comparación de los valores satelitales con los de tierra se realizó calculando para \bar{H} y \bar{H}_c en cada lugar y para cada mes del año los valores del error cuadrático medio relativo, RMSE%, y del sesgo medio relativo, MBE%:

$$RMSE\% = 100 * \left[\frac{\sum_i^n (\bar{H}_{tierra} - \bar{H}_{satelital})^2 / n}{\left(\sum_i^n \bar{H}_{tierra} / n \right)} \right]^{1/2} \quad (2)$$

$$MBE\% = 100 * \frac{\sum_i^n (\bar{H}_{tierra} - \bar{H}_{satelital})}{\sum_i^n \bar{H}_{tierra}} \quad (3)$$

siendo n es el número de casos considerados en cada mes del año.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las estaciones seleccionadas fueron caracterizadas en función del clima y la topografía de la región abarcada por el pixel correspondiente a cada una de ellas. La estación de Rafaela se encuentra en una zona plana y homogénea del punto de vista climático. Su clima, siguiendo la clasificación de Köppen, es de tipo Cfa, templado húmedo sin estación seca con temperaturas medias del mes más cálido que superan los 22°C. En la Tabla 2 se consignan los resultados obtenidos de los errores cuadráticos medios relativos, RMSE%, y los sesgos medios relativos, MBE%, para \bar{H} y \bar{H}_c en los meses de enero, julio, abril y octubre, así como el número de casos considerados en cada mes.

Rafaela	\bar{H}		\bar{H}_c		n° de casos
	RMSE %	MBE%	RMSE %	MBE%	
Enero	6,3	-0,005	4,7	-0,9	14
Abril	7,2	-3,0	4,9	-0,3	14
Julio	6,6	-5,9	3,6	-1,3	13
Octubre	5,3	-0,9	5,0	-1,5	14

Tabla 2. Valores de RMSE% y MBE% obtenidos al comparar medias mensuales estimadas desde satélite con datos de tierra para \bar{H} y \bar{H}_c en Rafaela.

Paraná y San Miguel se encuentran ambas en zonas planas y dentro de la misma región climática Cfa pero afectadas por la cercanía de los ríos Paraná y del Plata, los resultados obtenidos se muestran en las Tablas 3 y 4.

Paraná	\bar{H}		\bar{H}_c		n° de casos
	RMSE %	MBE%	RMSE %	MBE%	
Enero	9,9	-8,1	9,4	-8,6	20
Abril	5,3	-4,5	5,9	-3,8	19
Julio	7,7	-7,0	4,6	-2,5	21
Octubre	7,8	-5,6	7,6	-5,3	20

Tabla 3. Valores de RMSE% y MBE% para \bar{H} y \bar{H}_c en Paraná.

San Miguel	\bar{H}		\bar{H}_c		n° de casos
	RMSE %	MBE%	RMSE %	MBE%	
Enero	6,0	-4,1	7,6	-5,5	14
Abril	11,4	-5,8	11,3	-4,1	10
Julio	18,1	-16,2	11,2	-9,5	14
Octubre	14,2	-10,6	11,9	-8,7	11

Tabla 4. Valores de RMSE% y MBE% para \bar{H} y \bar{H}_c en San Miguel.

Cerro Azul, en la provincia de Misiones, se ubica en una zona plana no homogénea climáticamente, dentro de la región Cfa con características locales de clima subtropical húmedo, con precipitaciones medias anuales de 1950 mm que aproximadamente duplican los valores de Paraná y San Miguel. La Tabla 5 muestra los valores obtenidos de RMSE% y MBE% en esta estación.

Cerro Azul	\bar{H}		\bar{H}_c		n° de casos
	RMSE %	MBE%	RMSE %	MBE%	
Enero	9,7	-8,1	16,1	-15,9	10
Abril	8,2	-4,4	13,0	-10,6	9
Julio	15,4	-13,1	15,3	-13,4	10
Octubre	11,4	-10,3	18,3	-18,0	9

Tabla 5. Valores de RMSE% y MBE% para \bar{H} y \bar{H}_c en Cerro Azul.

En Cerrillos, ubicada en una región no plana con marcados gradientes fito-orográficos y climáticos, se obtienen los resultados que se presentan en la Tabla 6,

Cerrillos	\bar{H}		\bar{H}_c		n° de casos
	RMSE %	MBE%	RMSE %	MBE%	
Enero	10,4	-5,0	9,9	-6,3	17
Abril	18,7	-15,4	8,3	-2,1	17
Julio	24,4	-21,4	13,9	-11,2	18
Octubre	16,6	-13,3	12,7	-10,7	18

Tabla 6. Valores de RMSE% y MBE% para \bar{H} y \bar{H}_c en Cerrillos.

CONCLUSIONES

La comparación de valores satelitales de irradiación solar global e irradiación global de cielo claro con datos de tierra en localidades ubicadas en regiones con distintos grados de inhomogeneidad climática y topográfica muestra que los valores estimados a partir de datos satelitales resultan un buen complemento de la información de tierra en zonas planas y homogéneas climáticamente, como es el caso de Rafaela, con desvíos cuadráticos medios que varían para los distintos meses entre 5,3 y 7,2 % para la irradiación global y entre 3,6 y 5% para la irradiación global de cielo claro. Para localidades ubicadas en regiones planas pero con una mayor inhomogeneidad climática se hallaron desvíos de hasta 18,1 % (julio en San Miguel) con una variación intermensual más acentuada (6 a 18,1 % en San Miguel, 8,2 a 15,4% en Cerro Azul). En zonas de clima húmedo con régimen de precipitaciones elevado, como sucede en Cerro Azul, los desvíos para la irradiación de cielo claro son mayores, con valores que van de 13 a 18,3%. Probablemente en estos casos el nivel de ajuste de la correlación de Suercke empleada sea menor que para climas más secos. En zonas de alturas, por ejemplo Cerrillos, se obtienen desvíos que varían entre 10,4 y 24,4% para la irradiación global. Por último, los sesgos medios relativos obtenidos en todas las estaciones y para todos los meses muestran siempre una sobreestimación del recurso por parte del valor satelital respecto al dato de tierra, tanto para la irradiación solar global como para la irradiación global de cielo claro.

AGRADECIMIENTOS

La información utilizada en este trabajo fue suministrada por el "NASA Langley Research Center-Atmospheric Science Data Center (ASDC)".

REFERENCIAS

- Grossi Gallegos, H. (1999) Comparación de los valores satelitales del "Surface Solar Energy (SSE) data set versión 1.0" con datos de tierra de la Red Solarimétrica. *Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol.6, pp 1-6.
- Grossi Gallegos, H., Righini, R. (2007) Atlas de Energía Solar de la República Argentina. Publicado por la Universidad Nacional de Luján y la Secretaría de Ciencia y Tecnología, Buenos Aires, Argentina, 74 páginas + 1 CD-ROM. ISBN 978-987-9285-36-7, Registro de la Propiedad Intelectual No. 554247.
- Pinker, R. and Laszlo, I. (1992) Modelling surface solar irradiance for satellite applications on a global scale. *J. Appl. Meteor.* **31**, 194-211.
- 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.

ABSTRACT: In this work monthly mean values of satellite estimates of solar global irradiation and global solar irradiation for clear day, published by NASA with a 1°x1° spatial resolution, were compared against ground data measured simultaneously in different places in Argentina. Relative mean root square errors are obtained and vary for different months between 5.3 and 24.4% for the global irradiation and between 3.6 and 18.3% for the global clear sky irradiation, depending strongly on the degree of topographic and climatic inhomogeneity on the place. Relative mean bias errors show in all the cases an over-estimation of satellite data. One concludes that this information can be valid as a complement of ground data only for flat and homogeneous zones.

Key words: global irradiation, satellite estimates, Argentina.