

# RELACIÓN ENTRE DATOS DE RADIACIÓN SOLAR GLOBAL ESTIMADOS POR SATÉLITE Y GENERADOS POR LA RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN – REPÚBLICA ARGENTINA

Jorge D. Forciniti<sup>1</sup>, Juan C. Ceballos<sup>2</sup>, Angel M. Leal<sup>1</sup> y María L. Soulé Gómez<sup>1</sup>  
[jorgeforciniti@eeaoc.org.ar](mailto:jorgeforciniti@eeaoc.org.ar)

<sup>1</sup>Sección Agrometeorología, Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. CC N° 9 (4101) Las Talitas –Tucumán - Argentina

<sup>2</sup>Divisão de Satélites e Sensores Meteorológicos – DISSM, Coordenação Geral de Ciências da Terra – CGCT, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Cachoeira Paulista, São Paulo, Brasil

**Palabras clave:** Radiación solar, satélite, Tucumán, modelo GL, red solarimétrica.

## 1) INTRODUCCIÓN

La importancia del monitoreo de balances de radiación y de la radiación solar en particular es actualmente realzada en variados contextos socioeconómicos, que van desde el control de eficiencia de producción agrícola, pasando por el diseño funcional de urbanización y edificios, hasta la generación de energía renovable y ambientalmente limpia. Sin embargo, dada su complejidad topográfica y el costo de instalación y mantenimiento de redes solarimétricas, el Noroeste Argentino ha carecido de monitoreo de la radiación solar en escala temporal y espacial detallada. Una alternativa de gran interés y factibilidad actual es la combinación (*sinergia*) de datos de superficie y estimaciones satelitales confiables, que permita por un lado el control de manutención y calidad de la red, y por otro la estimación del recurso energético en un área geográfica mayor y más detallada.

La Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombres” (EEAOC), ubicada en la provincia de Tucumán, en el Noroeste Argentino, dispone de una red de más de 40 estaciones meteorológicas automáticas (Figura 1). Esta red, administrada por la Sección Agrometeorología de la EEAOC, genera información meteorológica de forma automática desde el año 1994. A partir del año 2006 se instaló un sistema de telesupervisión que hasta el día de hoy permite obtener datos en tiempo real de distintas variables meteorológicas, entre ellas la radiación solar global (Lamelas et al, 2006). Los datos para 46 estaciones están disponibles en la página web de la Sección Agrometeorología (<http://agromet.eeaoc.gob.ar>). La medición de la radiación solar global se realiza mediante solarímetros fotovoltaicos con sensores de fotodiodo de silicio (Grossi Gallegos y Righini, 2007), sensibles en la banda espectral 300-1100 nm pero calibrados para radiación solar en el intervalo 300-3000 nm.

El modelo GL versión 1.2 es un modelo físico que produce estimaciones de irradiancia solar a nivel de superficie, a partir de imágenes del canal VIS (visible) de satélite geostacionario (en este caso, la serie GOES-East). La integración temporal de la serie de estimaciones permite evaluar la irradiancia media diaria (Ceballos et al. 2004). El modelo produce datos para el área de América del Sur al norte de 50°S. Análisis de desempeño para Brasil en 2016 y Pampa Húmeda argentina en 2011-2017 se encuentran en Porfirio et al. (2020) y Ceballos et al. (2022). Campos de promedios mensuales desde 2000 hasta la actualidad están accesibles en versión geotiff, en la página web de la DISSM (<http://satellite.cptec.inpe.br/radiacao/>, sección Solar Global / Media Mensal).

Un primer análisis de la relación entre "verdad terrestre" (red de la EEAOC) y estimación satelital (modelo GL 1.2) en Tucumán fue realizado hace 10 años (Ceballos et al. 2012). El presente trabajo describe ajustes más recientes, observados en 2020 para cinco estaciones

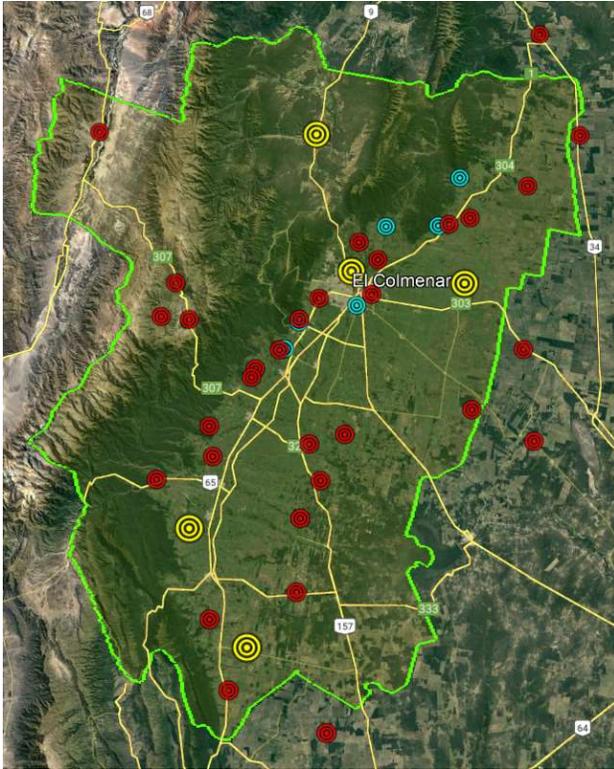


Figura 1: Disposición actual de las estaciones meteorológicas automáticas telesupervisadas en la provincia de Tucumán y áreas de influencia. Se representan en color amarillo las estaciones utilizadas para este análisis, en color rojo las estaciones con sensores de radiación solar y en celeste las que no lo poseen.

automáticas de la red.

## 2) DATOS UTILIZADOS

Se utilizaron valores de irradiancia media diaria (período 2020) expresados en  $Wm^{-2}$ , provenientes de cinco estaciones: El Colmenar ( $26,7875^{\circ}S$ ,  $65,1953^{\circ}W$ ), Monte Redondo ( $26,8192^{\circ}S$ ,  $64,8503^{\circ}W$ ), Casas Viejas ( $27,7803^{\circ}S$ ,  $65,5064^{\circ}W$ ), Santa Ana ( $27,4747^{\circ}S$ ,  $65,6764^{\circ}W$ ) y Benjamín Paz ( $26,3939^{\circ}S$ ,  $65,2997^{\circ}W$ ). Las estaciones registran datos con una periodicidad de 15 minutos, obteniendo la radiación media diaria como promedio de los registros generados en 24 horas.

Los datos diarios de satélite son obtenidos por integración temporal de estimaciones del modelo GL 1.2 cada 15 minutos (frecuencia en 2020 para imágenes del nuevo sensor ABI, GOES16). La resolución espacial es de  $0,04^{\circ}$  (en torno de 4 km), representando un promedio de valores en  $3 \times 3$  pixeles de imagen; es evaluada la irradiancia promedio en 24 horas (en  $W m^{-2}$ ).

## 3) RESULTADOS

En la tabla 1 se pueden observar los coeficientes de interpolación lineal y de determinación para cada estación, junto con el error medio (VIES), el desvío estándar (STD) y el error cuadrático medio (RMSE). Se destaca la estación de El Colmenar por tener el coeficiente de determinación más alto (0,9646), mientras que Benjamín Paz mostró el  $R^2$  menor (0,8900).

	Estación	Altitud	a	b	$R^2$	VIES	STD	RMSE
1	Benjamín Paz	780	1,111	17,2	0,8900	+0,1	29,6	29,6
2	Casas Viejas	383	1,066	4,12	0,9259	+0,2	24,7	24,7
3	El Colmenar	482	1,096	9,43	0,9646	+0,1	16,6	16,6
4	Monte Redondo	393	1,063	13,98	0,9447	+0,1	21,0	21,0
5	Santa Ana	389	1,180	16,35	0,9167	+0,1	27,9	27,9

Tabla 1: Regresión lineal de los valores diarios de irradiancia estimada por el modelo (GL) con relación a los medidos (G) ( $GL^* = a \cdot G + b$ ). VIES, STD y RMSE están calculados para la diferencia entre GL y  $GL^*$ .

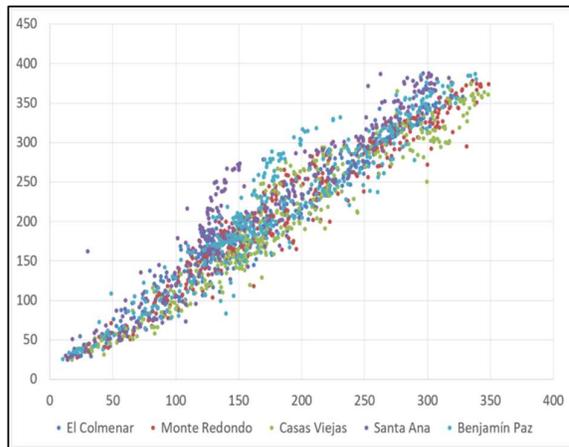


Figura 2: Dispersión de datos diarios para valores medidos (abcisas) y estimados (ordenadas) en el año 2020

Para valores elevados de irradiancia, la diferencia entre GL y G puede alcanzar entre 6% y 18% de G, como puede observarse en la Figura 2. Existe en general una buena linealidad; Benjamín Paz y Santa Ana presentan una nube de puntos separados de la línea de tendencia, atribuibles a errores de medición. Con todo, si los valores de GL son contrastados con el ajuste  $GL^* = a.G + b$ , se observa un vies (desvío medio) casi nulo, y  $STD \approx RMSE$  del orden de 20-30  $W m^{-2}$ .

#### 4) CONCLUSIÓN

El análisis preliminar de las cinco estaciones muestra una elevada linealidad entre mediciones y estimaciones, que puede contribuir a calibrar los datos de superficie (o a corregir los de satélite). Efectuada tal corrección, el VIES es muy reducido y los estimadores de error (STD y RMSE) no exceden 20-30  $W m^{-2}$ . Los resultados sugieren que el modelo GL 1.2 puede ser utilizado para un monitoreo amplio, sistemático y detallado del desempeño de la red, y que esta última puede permitir la calificación del modelo satelital en la región, promoviendo su uso para describir el régimen de radiación solar en áreas extensas del Noroeste Argentino.

#### REFERENCIAS

- Ceballos, J. C., Bottino, M. J. y Souza, J.M., 2004:** A simplified physical model for assessing solar radiation over Brazil using GOES 8 visible imagery. *J. Geophys. Research* 109: D02211, <https://doi.org/10.1029/2003JD003531>.
- Ceballos, J.C., Lamelas, C. M., Forciniti, J. D. y Rodrigues, M.L., 2012:** Radiación Solar en la Provincia de Tucumán: Una Comparación Entre Valores Estimados por Satélite y Medidos por una Red Solarimétrica. XXXIV Reunión de ASADES 2011. Trabajos Presentados- Área: Radiación Solar y Clima- 71 – 78. En CD.
- Ceballos, J.C., Porfirio, A.C.S, Oricchio, P.A. y Posse, G., 2022:** Characterization of the anual regime of surface solar irradiance over Argentine Pampean Region using GL1.2 satellite-based data. *Renewable Energy* 194: 526-537. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.05.038>.
- Grossi Gallegos, H. y Righini, R., 2007:** Atlas de Energía Solar de la República Argentina. Universidad Nacional de Luján y Secretaría de Ciencia y Tecnología, Buenos Aires, Argentina, ISBN 978-987-9285-36-7.
- Lamelas, C.M., Forciniti, J.D. y Soulé Gómez, M.L., 2006:** “Provincia de Tucumán: Desarrollo e instalación de un sistema de telesupervisión y comando para estaciones meteorológicas automáticas”. XI Reunión Argentina de Agrometeorología. Trabajos Presentados- Área Agrometeorología: 13 – 16.
- Porfirio, A.C.S., Ceballos, J.C., Britto J.M.S. y Costa S.M.S., 2020:** Evaluation of Global Solar Irradiance Estimates from GL1.2 Satellite-Based Model over Brazil Using an Extended Radiometric Network. *Remote Sensing* 12, no. 8: 1331. <https://doi.org/10.3390/rs12081331>