

## COMPARACIÓN ENTRE DATOS SATELITALES DE RADIACIÓN SOLAR Y VALORES MEDIDOS EN TIERRA PARA LA PROVINCIA DE SANTA FE

**Gustavo Risso, Mario Battioni, Juan J. Stivanello, Javier A. Schmidt**

IFIS Litoral – CONICET-UNL. Güemes 3450, 3000 Santa Fe  
Tel. 0342-455 9174/77 e-mail: [genoc@santafe-conicet.gov.ar](mailto:genoc@santafe-conicet.gov.ar)

*Recibido 15/08/19, aceptado 23/10/19*

**RESUMEN:** Al momento de decidir el emplazamiento de un parque solar fotovoltaico, surge la necesidad de contar con datos fehacientes de radiación solar y variables atmosféricas para ese sitio. En el presente trabajo se propone realizar una comparación entre datos satelitales obtenidos por la Agencia Espacial Norteamericana (NASA) y datos medidos por nuestro grupo utilizando piranómetros calibrados ubicados en tierra. La comparación abarca un período de 4 años. Considerando que actualmente la NASA ofrece datos meteorológicos y de radiación global horizontal para períodos de tiempo específicos, además de los habituales promedios históricos sobre 22 años, es que en este trabajo se comparan tales valores con los medidos en cinco estaciones solarimétricas distribuidas estratégicamente a lo largo de la Provincia de Santa Fe. Se encuentra una coincidencia general entre los datos provenientes de ambas fuentes (Coeficientes de Correlación superiores a 0,90), aunque un análisis más detallado muestra que los datos de la NASA sobreestiman levemente el recurso solar para las localidades elegidas para este estudio (Sesgo positivo entre 2,2% y 7,0%).

**Palabras clave:** radiación solar, plano horizontal, NASA, Red Solarimétrica, Santa Fe.

### INTRODUCCIÓN

Para decidir una inversión en una planta de generación de energía solar fotovoltaica conectada a la red, resulta fundamental poder estimar con precisión la energía en kWh eléctricos que pueden obtenerse anualmente por cada kW<sub>p</sub> instalado (Mutoh *et al.*, 2002; Furushima *et al.*, 2006). Este número, llamado “índice de producción final de la planta” (*final yield, FY*), depende de muchos factores, entre los cuales el más importante es el recurso solar, que define cuánta energía se encuentra disponible para ser aprovechada por la instalación fotovoltaica.

En la Provincia de Santa Fe se encuentra activa la Red Solarimétrica de Santa Fe (RSSF). Esto significa que, para cinco localizaciones específicas dentro de la Provincia, existen estaciones solarimétricas en las que realizan mediciones detalladas, como por ejemplo valores diarios registrados a intervalos de minutos de radiación solar global horizontal, temperatura ambiente, dirección y velocidad del viento, humedad relativa ambiente, entre otros. Si bien estos datos son de mucha precisión, dada la calidad de los equipos intervinientes, ellos nos hablan del recurso solar en una zona puntual. Podemos estimar que los datos son representativos para un radio aproximado de 20 a 30 km (Zelenka *et al.*, 1999; Huld, 2011).

Como alternativa a las mediciones directas sobre el terreno, pueden usarse datos de radiación provenientes de mediciones satelitales. Existen variados antecedentes de estudios correlacionando las mediciones satelitales con valores medidos en tierra, utilizando distintas generaciones de datos y algoritmos de cálculo. Con el avance de las tecnologías satelitales, se fue mejorando la resolución espacial de los datos, pasando de áreas de 280 km × 280 km usando los datos de *Surface Solar Energy* (SSE) versión 1.0 (Grossi Gallegos, 1999), a 100 km × 100 km con datos de *Surface Radiation Budget* (SRB) Project-REL3.0 (Raichijk, 2009), a 40 km × 40 km con datos de *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA) (Salazar *et al.*, 2013), para llegar hasta superficies de 2 km × 2 km con datos de satélites de la serie GOES (Ceballos *et al.* 2011; Taddei *et al.*, 2014).

Existen trabajos comparativos de distintas fuentes satelitales con mediciones *in situ*, evaluados con métodos estadísticos (Salazar *et al.*, 2013; Rodríguez Camargo *et al.*, 2015; Sarmiento *et al.*, 2019) sobre áreas específicas del noroeste argentino. El presente trabajo compara las mediciones de la RSSF con datos provistos por la NASA, estando previsto replicar el análisis con otras fuentes de datos satelitales, como ERA-INTERIM del *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) y los proporcionados por la *Land Surface Analysis Satellite Applications Facility* (LSASAF) que son generados a partir de imágenes de MeteoSat de segunda generación (MSG), entre otros posibles.

## METODOLOGÍA

Las instalaciones utilizadas para la realización de este estudio se encuentran distribuidas de manera tal de cubrir de forma homogénea la superficie provincial. Para ello se eligieron las localidades de Tostado, Reconquista, Elisa, Cañada Rosquín y Firmat. Un mapa con la distribución de las estaciones dentro del territorio provincial puede encontrarse en la Figura 1, extraída del trabajo de Battioni *et al.* (2016).

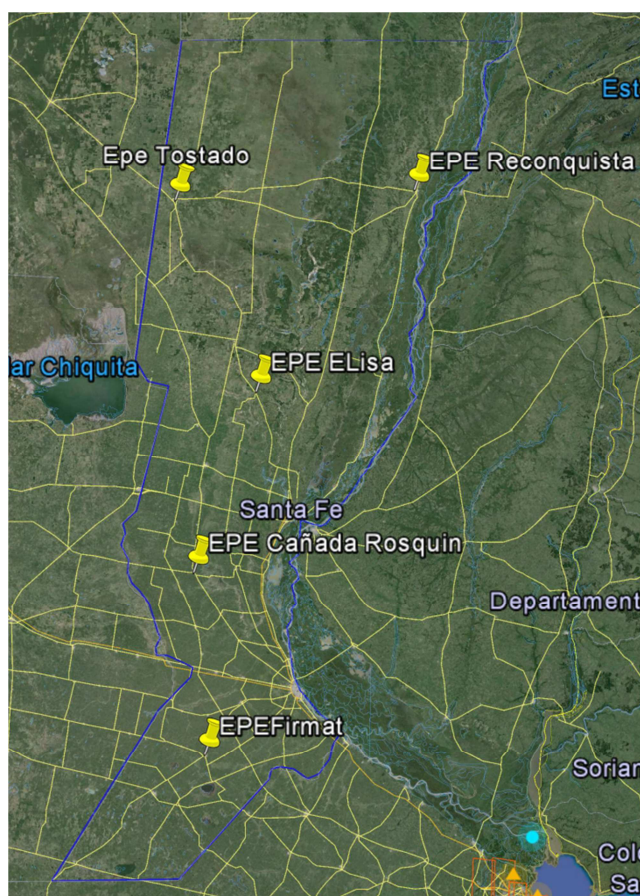


Figura 1 Ubicación de las estaciones de la Red Solarimétrica de Santa Fe.

En cada una de las localidades se instalaron instrumentos de medición de radiación solar y variables atmosféricas, entre las que se cuentan temperatura, humedad, dirección y velocidad del viento a dos metros de altura, y presión atmosférica. El instrumento utilizado para medir la radiación global en el plano horizontal es un piranómetro calibrado marca Kipp&Zonen, modelo CMP6. Se cuenta además con sensores marca TECMES, TS231 y TS232, de medición de velocidad y dirección del viento; un sensor marca TECMES TS251-T, de medición de temperatura y humedad relativa con protección contra la radiación solar; un Datalogger TECMES TS2621 para almacenamiento local de los datos; un Panel solar marca SOLARTEC para alimentar el sistema; un tablero general de comando con gabinete de protección; un Módem GPRS marca TECMES AS3006 y una antena de recepción y transmisión de

datos. Los instrumentos fueron sujetos a calibración periódica según recomendación del fabricante. Los datos fueron medidos cada tres minutos, almacenados localmente en un Datalogger y luego transmitidos utilizando la red de telefonía móvil GPRS hacia un servidor ubicado en la ciudad de Santa Fe a fin de ser almacenados y procesados. El pretratamiento de los datos comenzó con una revisión de los valores obtenidos por las estaciones de medición, eliminando en caso de existir algún tipo de *offset* que pudiera aparecer en los datos. Posteriormente se realizaron gráficas diarias de los datos obtenidos, descartándose en caso de existir aquellos valores claramente erróneos. Los datos diarios medidos cada tres minutos se integraron para obtener la irradiación diaria en kWh/m<sup>2</sup>/día, descartándose los días incompletos. Posteriormente se realizaron gráficas mensuales de los datos diarios obtenidos por la RSSF y la NASA, comparándose los valores. Se calculó el error relativo porcentual de la irradiación diaria, revisándose los datos de ambas fuentes en el caso de detectarse un error significativo.

Los datos suministrados gratuitamente por la NASA fueron obtenidos de la página web <https://power.larc.nasa.gov/>. Los parámetros están disponibles para una cuadrícula de 0,5°×0,5° de latitud y longitud, lo que equivale aproximadamente a unos 56 km en dirección Norte-Sur y a unos 48 km en dirección Este-Oeste. En este trabajo se utilizaron datos de dos tipos. Por un lado, los surgidos del proyecto FLASH Flux (*Fast Long wave And Short wave Radiative Fluxes*), que brindan el valor diario de irradiación global en el plano horizontal (kWh/m<sup>2</sup>/día) desde el 1° de enero de 2008 hasta la actualidad casi en tiempo real (con una demora de unos 7 días). Estos datos son directamente comparables con las mediciones de la RSSF, ya que corresponden a las mismas fechas. Por otro lado, se utilizaron los datos históricos sobre 22 años de medición (1° de julio de 1983 – 30 de junio de 2005), surgidos del proyecto GEWEX/SBR (*Global Energy and Water Exchange Project /Surface Radiation Budget*) de la NASA (NASA, 2019). En este caso, se utilizó el promedio histórico mensual de irradiación global horizontal diaria (kWh/m<sup>2</sup>/día).

Para realizar la comparación entre los datos medidos por la RSSF y los obtenidos de la NASA, se utilizaron distintos indicadores estadísticos. Las comparaciones se realizaron a nivel de irradiación diaria, integrando los datos medidos cada tres minutos por la RSSF para obtener la irradiación en kWh/m<sup>2</sup>/día, que es el formato que tienen los datos de la NASA.

Por un lado, se calculó el error relativo porcentual para cada día de medición,  $\varepsilon_{rel}\%|_i$ , según la fórmula

$$\varepsilon_{rel}\%|_i = \frac{(NASA_i - RSSF_i)}{RSSF_i} \times 100, \quad (1)$$

donde:

$NASA_i$  = Irradiación solar global diaria sobre el plano horizontal en [kWh/m<sup>2</sup>/día] medido por NASA,  
 $RSSF_i$  = Irradiación solar global diaria sobre el plano horizontal en [kWh/m<sup>2</sup>/día] medido por RSSF,  
 $i$  = día de medición, comenzando con 1 el 1° de enero de 2015.

El sesgo medio (*Mean Bias Error, MBE*) se calculó según

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (NASA_i - RSSF_i), \quad (2)$$

donde  $N$  es el número de mediciones consideradas. A su vez, el valor promedio medido por la RSSF se define como

$$\overline{RSSF} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N RSSF_i, \quad (3)$$

lo que nos permite obtener el sesgo medio relativo porcentual (*relative Mean Bias Percentage Error, rMBE%*) según

$$rMBE\% = \frac{100}{\overline{RSSF}} \times \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (NASA_i - RSSF_i). \quad (4)$$

También se calcularon los valores absolutos del error relativo porcentual, según la siguiente fórmula

$$|\varepsilon_{rel}\%|_i = \frac{|NASA_i - RSSF_i|}{RSSF_i} \times 100 . \quad (5)$$

Promediando estos valores se obtuvo el error medio absoluto relativo porcentual (*relative Mean Absolute Percentage Error, rMAPE%*):

$$rMAPE\% = 100 \times \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|NASA_i - RSSF_i|}{RSSF_i} . \quad (6)$$

Por su parte, el error cuadrático medio relativo porcentual (*relative Root Mean Square Percentage Error, rRMSE%*) se obtuvo como

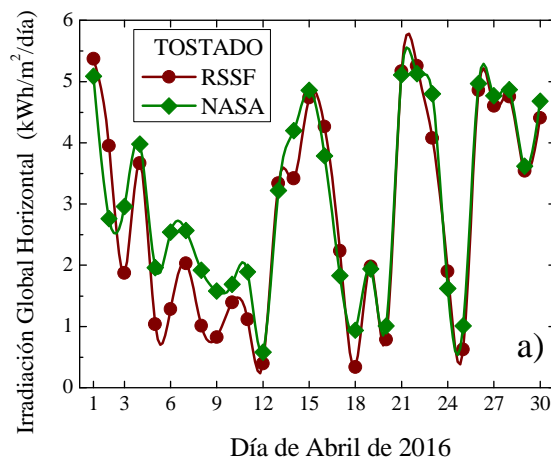
$$rRMSE\% = \frac{100}{RSSF} \times \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (NASA_i - RSSF_i)^2 \right]^{1/2} . \quad (7)$$

Finalmente, se calcularon también el coeficiente de determinación  $R^2$  y el coeficiente de correlación  $\rho$ , cuyas definiciones pueden hallarse en la literatura (Inman *et al.*, 2013).

## RESULTADOS

Como primer punto, se comparan los valores diarios de irradiación global en el plano horizontal medidos por la RSSF y la NASA para tres localidades de la provincia, ubicadas en la zona norte (Tostado), centro (Elisa) y sur (Firmat). Los resultados se muestran en las Figuras 2 a), b) y c) para un mes típico, en este caso Abril de 2016.

Para estas localidades puede observarse que, si bien existen discrepancias en los valores puntuales, en líneas generales ambas mediciones reproducen la evolución diaria en cuanto a la presencia de máximos y mínimos. Esto muestra que el modelo utilizado por la NASA puede predecir bastante bien las variaciones de insolación debido a nubosidad y otros factores. Sin embargo, una observación más detallada muestra que con mayor frecuencia los valores de la NASA se encuentran ligeramente por encima de los medidos por la RSSF, lo que podría llevar a una sobreestimación del recurso solar. Aun así, para algunos días particulares se da la situación inversa, siendo los valores de la NASA inferiores a los de la RSSF. Si a partir de la Figura 2 se calculan los errores relativos porcentuales entre los valores de la NASA y los de la RSSF, se encuentra que pueden estar entre -70% y +150% en casos extremos.



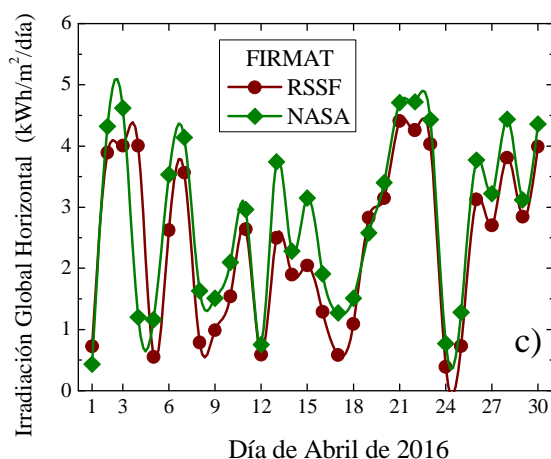
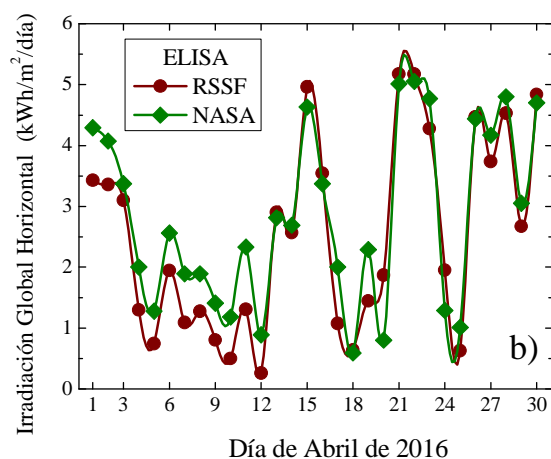


Figura 2: Irradiación solar global diaria sobre el plano horizontal durante el mes de Abril de 2016 para tres localidades de la provincia de Santa Fe: a) Tostado, b) Elisa y c) Firmat. Se comparan valores medidos por la Red Solarimétrica de Santa Fe (RSSF) y la NASA.

Como segundo punto, se compararon los promedios mensuales de irradiación global horizontal diaria, a lo largo de los cuatro años completos de mediciones que posee la RSSF (enero 2015 – diciembre 2018). Esta comparación se ilustra para el caso puntual de Elisa (centro de la Provincia de Santa Fe) en la Figura 3. Se observa que, al realizar los promedios mensuales, se produce una cierta compensación entre los días en que los valores de la NASA están por encima y por debajo de los de la RSSF, mejorando entonces el acuerdo entre ambas fuentes de datos. Es así que los datos de la NASA poseen un error relativo porcentual de entre -4,6% y +21,5 respecto de la RSSF. Es decir, al promediar una mayor cantidad de datos el ajuste resulta mejor, acercándose ambas curvas entre sí.

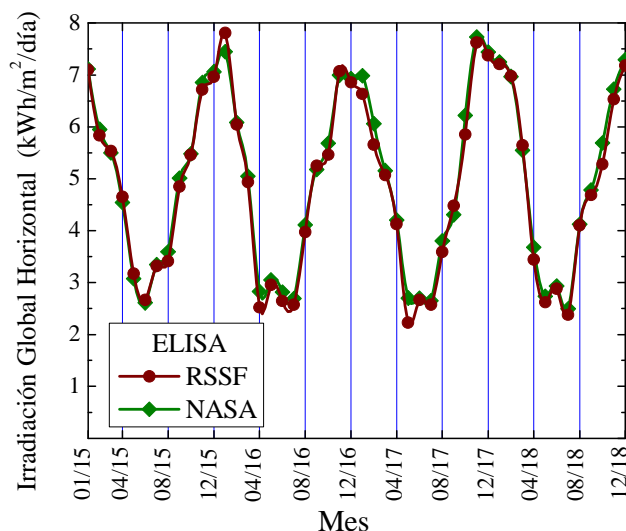


Figura 3: Evolución de los promedios mensuales de irradiación solar global diaria sobre el plano horizontal medidos para la localidad de Elisa por la RSSF y la NASA entre Enero de 2015 y Diciembre de 2018.

Posteriormente, se promediaron los datos de los cuatro años disponibles de medición, obteniéndose la Figura 4. Podemos considerar que estos datos tienden a aproximarse al promedio histórico para la ubicación. En esta figura también se incluyeron los datos promedios elaborados por la NASA a partir de 22 años de medición, entre el 1° de julio de 1983 y el 30 de junio de 2005.

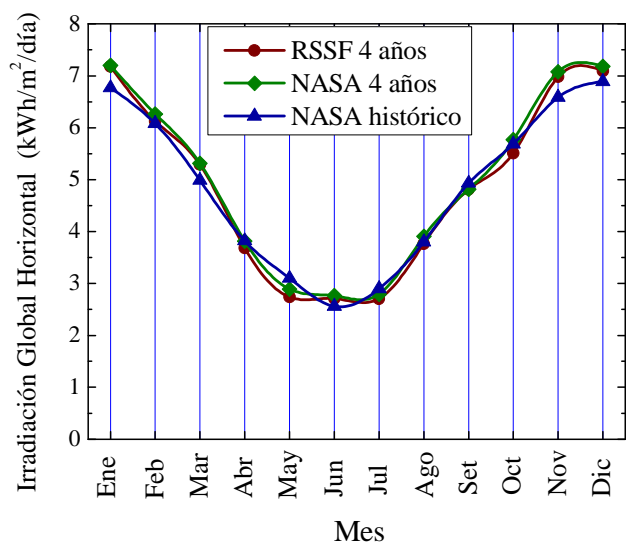


Figura 4: Promedios mensuales históricos de irradiación global diaria sobre el plano horizontal medidos en Elisa por la RSSF entre Enero de 2015 y Diciembre de 2018 (círculos), por la NASA en los mismos 4 años (diamantes) y por la NASA durante 22 años (triángulos).

De la Figura 4 se observa que, para los promedios de los últimos 4 años obtenidos tanto a partir de datos de la RSSF (círculos rojos) como de la NASA (diamantes verdes), se obtienen valores similares. Esta coincidencia da una idea de validación mutua de los resultados. Sin embargo, los valores de la NASA siempre están levemente por encima de los obtenidos por la RSSF, con un error relativo porcentual que puede llegar al +5,5%. En el promedio anual, el valor de la NASA está un 2% por encima del medido por la RSSF. Este valor está dentro del rango de los obtenidos por Righini y Aristegui (2013) al comparar datos de la Red Solarimétrica Pampeana con datos de la NASA, quienes obtienen diferencias entre -4,4% y +4,3% dependiendo de las estaciones. Por su parte, el promedio histórico elaborado por la NASA (triángulos azules) se aleja para algunos meses de ambas medidas, lo que pone de manifiesto la variabilidad interanual de la radiación solar. En este caso, el error relativo

porcentual entre el promedio histórico de la NASA y el promedio de los últimos cuatro años obtenido por la RSSF está entre el -5,7% y el +13,2%. Por lo tanto, si bien los promedios históricos son útiles para realizar estimaciones gruesas del recurso solar, la variabilidad en períodos prolongados de tiempo puede ser considerable. El margen de error encontrado en este trabajo para los datos satelitales es similar al hallado por otros autores en trabajos realizados para diferentes países (Zelenka, 1999; Beyer, 1996).

Para cuantificar mejor las diferencias entre los valores medidos por la NASA y por la RSSF, se emplearon los estimadores estadísticos definidos previamente. Los errores relativos porcentuales para cada día de medición, definidos en la Ec. (1), se promediaron para cada mes. Luego, los cuatro promedios mensuales se promediaron en un único valor representativo de los 4 años de estudio. La comparación se muestra en la Figura 5.

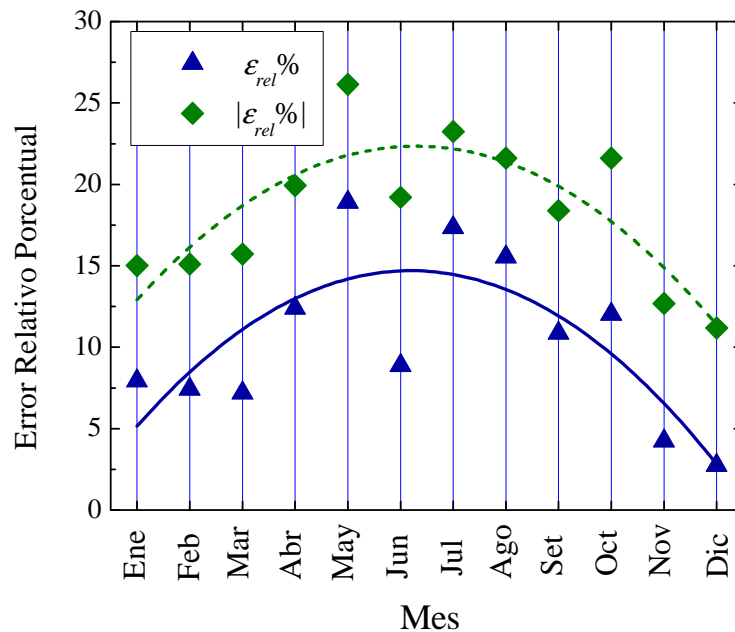


Figura 5: Promedio mensual de los errores relativos porcentuales entre los datos de la NASA y las mediciones de la RSSF (triángulos), y promedio mensual de los valores absolutos de los errores relativos porcentuales (diamantes). Todos los datos corresponden a la localidad de Elisa.

Para el caso de los errores relativos porcentuales (triángulos azules) se aprecia que las mediciones satelitales sobreestiman el recurso solar en hasta un 18,9% (mes de mayo), siendo el valor promedio anual del error 10,5%. A pesar de la dispersión de los datos, se observa una cierta tendencia a que el error sea mayor en los meses de menor insolación, lo cual se evidencia a partir de la línea sólida que surge de un ajuste con un polinomio de grado dos. Sin embargo, esta tendencia debería confirmarse con mayor cantidad de mediciones. Por su parte, los valores absolutos del error relativo porcentual (diamantes verdes) muestran una tendencia similar, sólo que desplazada hacia mayores valores. El máximo resulta en este caso del 26,1% (mes de mayo), y el error parece nuevamente mayor para los meses de menor insolación (línea de trazos, ajuste con un polinomio de grado dos). Este valor absoluto del error relativo porcentual podría considerarse el error más probable para un día cualquiera de medición de cada mes.

Por otra parte, utilizando todos los datos medidos para cada una de las estaciones que conforman la RSSF ( $N$  datos), se calcularon el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el coeficiente de correlación ( $\rho$ ), el error cuadrático medio relativo porcentual ( $rRMSE\%$ ), el sesgo medio relativo porcentual ( $rMBE\%$ ), el error medio absoluto normalizado por el promedio de la irradiación ( $MAE/Prom$ ) y el error medio absoluto relativo porcentual ( $rMAPE\%$ ). Los resultados se presentan en la Tabla 1 para las distintas localidades.

	<i>N</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	$\rho$	<i>rRMSE%</i>	<i>rMBE%</i>	<i>MAE/Prom</i>	<i>rMAPE%</i>
<b>Elisa</b>	1403	0,92	0,96	14,1	2,2	0,097	18,3
<b>Firmat</b>	1252	0,93	0,96	16,7	7,0	0,103	18,9
<b>Cañada Rosquín</b>	1252	0,81	0,90	26,1	6,9	0,153	24,6
<b>Tostado</b>	1197	0,91	0,95	15,5	3,8	0,094	16,2
<b>Reconquista</b>	857	0,63	0,80	31,4	11,1	0,210	28,4

Tabla 1. Indicadores estadísticos que comparan los datos satelitales provistos por la NASA con las mediciones realizadas por piranómetros de la RSSF.

De los 1460 días posibles de medición correspondientes a 4 años de funcionamiento, las estaciones de la RSSF cuentan entre 857 y 1403 días con datos completos. Los coeficientes que indican correlación, como  $\rho$  y  $R^2$ , son muy buenos para Elisa, Firmat y Tostado, un poco más bajos para Cañada Rosquín y relativamente bajos para Reconquista. En esta última instalación de la RSSF se perdieron varios meses de datos, por lo que la estadística es más acotada (857 días de datos en total). Además, por encontrarse en una zona fitogeográfica inhomogénea, relativamente cercana al río Paraná y sus bañados, la medición satelital puede presentar errores debido al tamaño de la celda utilizada. Por esto, los valores para Reconquista se descartan en la discusión que sigue. Los coeficientes  $R^2$  y  $\rho$  para Cañada Rosquín son idénticos a los obtenidos por Ramirez Camargo *et al.* (2015) para la zona de Salta, si bien los datos satelitales provienen de otra fuente (LSA-SAF). El *rRMSE%* está en el orden del 15% para Elisa, Firmat y Tostado, y del 26% para Cañada Rosquín. Taddei *et al.* (2014) encuentran valores del orden de 10% cuando usan imágenes provenientes del satélite GOES-13 para obtener la radiación global horizontal, y contrastan con mediciones de la Red Solarimétrica de la Pampa Húmeda Argentina. Sin embargo, la comparación con nuestros valores no es directa porque este indicador depende del número de observaciones, que en el caso de Taddei *et al.* (2014) es del orden de 20. Ramirez Camargo *et al.* (2015), que usan más de 34.000 datos, obtienen valores del *rRMSE%* del orden del 63%. Por su parte, el sesgo medio relativo porcentual, *rMBE%*, está entre 2,2% para Elisa y 7% para Firmat. Estos valores están un poco por debajo del 8,7% encontrado por Grossi Gallegos (1999), el 9,3% de Ramirez Camargo *et al.* (2015) y el ~10% estimado por Taddei *et al.* (2014). En todos los casos, tanto para este trabajo como para los resultados de la literatura, se encuentra que las mediciones satelitales tienden a sobreestimar el recurso solar (Sesgo positivo según la definición utilizada Ec. 4). El *MAE/Prom* está entre el 9 y el 15%, lo cual está por debajo del 29% obtenido por Ramirez Camargo *et al.* (2015) a partir de los datos de LSA-SAF. El error medio absoluto (relativo porcentual, *rMAPE%*) está entre 16,2 y 24,6%, con valores que, como se vio en la Fig. 5 (diamantes verdes), tienen una dependencia con el nivel de insolación que debe ser estudiada más en profundidad.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó una contrastación directa entre datos diarios de irradiación global horizontal medidos para las mismas fechas y en la misma ubicación por la NASA y la RSSF. Se trata en un caso de mediciones satelitales procesadas por un modelo matemático, y en el otro de datos medidos en instalaciones terrestres con piranómetros calibrados.

De la comparación surge que, si se consideran los datos diarios para un día elegido al azar, el error relativo puede ser importante. A medida que se realizan promedios mensuales, y luego promedios sobre los cuatro años de medición, los errores tienden a reducirse, aunque persisten algunas diferencias. Los datos satelitales utilizados muestran coeficientes de correlación superiores a 0,90 respecto de las mediciones *in situ*. Entonces, si bien los datos de la NASA pueden utilizarse como fuente para un primer cálculo en la estimación de la producción anual de una planta, debe considerarse que los mismos tienden a sobreestimar el recurso. La magnitud de esta sobreestimación, con sesgos entre 2,2% y 7,0% depende de la forma en que se calculan los promedios, y de si se consideran promedios mensuales o anuales.

## AGRADECIMIENTOS



A la Secretaría de Estado de la Energía de la Provincia de Santa Fe por confiar en el Grupo de Energías No Convencionales (GENOC), IFIS Litoral CONICET-UNL, para el montaje, operación y mantenimiento de la Red Solarimétrica de la Provincia.

## REFERENCIAS

- Battioni M., Risso G., Cutrera M. y Schmidt J. (2016). Evaluación de distintos métodos para estimar la temperatura de operación de módulos fotovoltaicos y estimación de las pérdidas de energía por efecto de la temperatura. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 20, pp. 04.01-04.11.
- Beyer H., Costanzo C. y Heinemann D. (1996). Modifications of the Heliosat procedure for irradiance estimates from satellite images, *Solar Energy*, Vol. 56, pp. 207-212.
- Ceballos, J. C., Lamelas, C. M., Forciniti, J. D., y Rodrigues, M. L. (2011). Radiación solar en la provincia de Tucumán: una comparación entre valores estimados por satélite y medidos por una red solarimétrica. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 15, pp. 71-78.
- Furushima K., Nawata Y. y Sadatomi M. (2006). Prediction of Photovoltaic Power Output Considering Weather Conditions. 10.1115/ISEC2006-99024.
- 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.
- Inman, R. H., Pedro, H. T. C., y Coimbra, C. F. M. (2013). Solar forecasting methods for renewable energy integration. *Progress in Energy and Combustion Science*, 39, Vol. 6, pp. 535–576.
- Huld T. (2011). Estimating Solar Radiation and Photovoltaic System Performance, the PVGIS Approach, AFRETEP 1ST Regional Workshop Kampala, Uganda Conference Proceedings.
- Mutoh N., Matuo T., Okada K. y Sakai M. (2002). Prediction-data-based maximum-power-point-tracking method for photovoltaic power generation systems, *IEEE 33<sup>rd</sup> Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference Proceedings*, Vol. 3, pp. 1489-1494.
- NASA [en línea] NASA Prediction of Worldwide Energy Resources. Dirección URL: <<https://power.larc.nasa.gov/#resources>> [consulta: 14 de agosto de 2019]
- NASA [en línea] POWER Release 8.0.1 (with GIS Applications) Methodology (Data Parameters, Sources, & Validation). URL: <[https://power.larc.nasa.gov/documents/POWER\\_Data\\_v9\\_methodology.pdf](https://power.larc.nasa.gov/documents/POWER_Data_v9_methodology.pdf)> [consulta: 14 de agosto de 2019]
- Raichijk, C. (2009). Comparación de valores satelitales de irradiación solar global con datos de tierra en la República Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 13, pp. 11–07.
- Ramirez Camargo L., Altamirano M., Belmonte S., Dorner W. (2015). Comparación de fuentes satelitales, de re-análisis y métodos Estadísticos para el mapeo de la radiación solar en el valle de Lerma (salta-argentina). *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 19, pp. 11.19 – 11.30.
- Righini R y Aristegui R (2013). Análisis de datos de la red solarimétrica pampeana. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 17, pp.11.27-11.36
- Salazar, G. A., Hernandez, A. L., Echazú, R., Saravia, L. R., y Romero, G. G. (2013). Comparison Between Measured Mean Monthly Solar Insolation Data and Estimates from Swera Database for Salta City (Northwestern Argentina). *Electronic Journal of Energy y Environment*, Vol. 3, pp. 9-20.
- Sarmiento N, Belmonte S, Dellicompagni P, Franco J, Escalante K,
- Sarmiento J (2019). A solar irradiation GIS as decision support tool for the Province of Salta, Argentina. *Renewable Energy* Vol. 132, pp. 68-80.
- Taddei, F., Melendez, S., Cuestas, Y., y Collel, E. (2014). Resultados preliminares de la aplicación del algoritmo heliosat-2 para la estimación de la irradiación solar global a partir de imágenes satelitales goes-13 en la región de la pampa húmeda Argentina. *Acta de la XXXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 2, pp. 63-75.

Zelenka A., Perez R., Seals R. y Renné D. (1999). Effective accuracy of satellite-derived irradiance. *Theoretical and Applied Climatology*, vol.62, pp. 199-207.

## **COMPARISON BETWEEN SATELLITE SOLAR RADIATION DATA AND GROUND MEASUREMENTS FOR SANTA FE PROVINCE**

**ABSTRACT** When deciding the location of a photovoltaic solar park, there is a need for reliable solar radiation and atmospheric variables data for the site. The purpose of this work it is to make a comparison between satellite data provided by the National Aeronautics and Space Administration (NASA) and data measured by our calibrated ground pyranometers. The comparison covers a period of 4 years. Considering that the NASA currently offers meteorological and global horizontal radiation data for specific periods of time, in addition to the usual historical averages over 22 years, it is that in this work these values are compared with those measured in five strategically distributed solarimetric stations throughout the Province of Santa Fe. A general coincidence is found between the data from both sources (Correlation Coefficient over 0.90), although a more detailed analysis shows that NASA data slightly overestimates the solar resource for the locations chosen for this study (Positive BIAS between 2.2% and 7.0%).

**Keywords:** solar radiation, horizontal plane, NASA, Solarimetric Network, Santa Fe.