



## MÓDULO RECURSO SOLAR

### Sistema de Información Solar Salta

#### MEMORIA TÉCNICA Y METADATOS

La plataforma web SISol (Sistema de Información Solar Salta) incluye como primer componente un módulo de consulta de la radiación solar. El estudio del recurso solar constituye un insumo imprescindible para el diseño de políticas públicas energéticas que incluyan las energías renovables, aportando principalmente a la planificación y ejecución de proyectos de energía solar de diversa escala. En la provincia de Salta, el recurso solar presenta excelentes condiciones para su potencial aprovechamiento energético.

**El módulo Recurso Solar permite la consulta espacial de un Atlas de Radiación Solar de la provincia de Salta en un Sistema de Información Geográfica (SIG).** Los mapas de radiación solar fueron desarrollados en el marco del Proyecto de Investigación Plurianual - PIP CONICET N° 035 (2015-2018) 'Sistema de soporte para la toma de decisiones en energías renovables (Salta - Argentina)' por el grupo de investigación Planificación Energética y Gestión Territorial del Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO- CONICET - Universidad Nacional de Salta).

### ¿QUÉ SE ENTIENDE POR RADIACIÓN SOLAR?

**Radiación Solar** es un término genérico que refiere a la energía radiante que emite el Sol. No obstante, como esta denominación es ampliamente utilizada en el lenguaje común, en este trabajo se la adopta como sinónimo de **Irradiación**, que sería el término técnico adecuado.

#### ***Irradiación solar (= Radiación solar)***

*Es la energía solar incidente en una superficie por unidad de área (irradiancia) integrada en un período de tiempo. Se puede expresar en J/m<sup>2</sup> o Wh/m<sup>2</sup>.*

Para comparar los valores de radiación solar presentados en este trabajo con otros datos de radiación que podrían estar en diferentes unidades, se puede utilizar la siguiente conversión:

Potencia		Energía	
<b>1 W (Vatio)</b>	1 J/s (Joule/segundo)	1 W h (Vatio hora)	3600 J (Joule)
<b>1 kW (kilo Vatio)</b>	1000 J/s(Joule/segundo)	1 kW h (kilo Vatio hora)	3,6 MJ (Mega Joule)



## ¿QUÉ INFORMACIÓN INCLUYE EL MÓDULO RECURSO SOLAR EN SISOL?

Este módulo permite la consulta espacial de **mapas de radiación solar global sobre plano horizontal** para el día característico de cada mes, radiación solar acumulada mensual y radiación solar acumulada anual en kWh/m<sup>2</sup>.

### ***Radiación solar global sobre plano horizontal***

Refiere a la irradiación total que llega a la superficie terrestre. Su valor global está dado por la suma de los componentes de radiación solar directa y difusa, expresado en kW/m<sup>2</sup>. La radiación sobre plano horizontal es la que se recibe en la superficie plana, es decir, con ángulo de inclinación cero.

### ***Día juliano característico de cada mes***

Corresponde al día del mes en el cual la radiación extraterrestre tiene el mismo valor que la radiación extraterrestre promedio del mes. Es utilizado como referencia de un día típico del mes.

El módulo de consulta del recurso solar en SISol incorpora además el cálculo de la radiación solar global sobre **plano inclinado a 30°**, orientación norte - azimuth 0°, posición que es usualmente utilizada para el dimensionamiento e instalación de equipos solares en la zona norte de Argentina. Asimismo el módulo estima la **radiación solar directa y difusa sobre plano horizontal**.

## ¿CÓMO FUERON DESARROLLADOS LOS MAPAS DE RADIACIÓN SOLAR?

El Atlas de Radiación Solar de Salta fue desarrollado con software libre y montado sobre Google Earth incluyendo 25 capas temáticas (12 mapas con valores diarios, 12 con promedios mensuales y 1 con promedio anual).

Los mapas de radiación solar se desarrollaron a partir del procesamiento de datos satelitales de la red Land Surface Analysis Satellite Applications Facility (LSA SAF)<sup>1</sup> con una resolución espacial aproximada de 16 km<sup>2</sup> y temporal de base de 30 minutos para un período de 7 años (2009-2015).

Estas imágenes proveen valores de Down-welling Surface Shortwave Flux (DSSF) que se refiere a la energía radiativa en el intervalo de longitudes de onda corta que llega a la superficie de la Tierra por unidad de tiempo y unidad de superficie. Depende esencialmente del ángulo cenital solar, la cobertura de nubes y en menor medida de la absorción atmosférica y albedo de la superficie.

Los datos satelitales se validaron a partir de comparaciones con mediciones de estaciones meteorológicas disponibles para el NOA y estimaciones por métodos matemáticos de radiación de día claro aplicadas en estaciones virtuales.

Para los meses de verano, se aplicaron factores de ajuste a los mapas satelitales mensuales de manera de reducir la variabilidad a menos del 10%. Los mismos fueron calculados en función de comparaciones estadísticas con las mediciones terrestres: Enero 1.07, Octubre 0.93, Noviembre 0.833, Diciembre 0.811.

<sup>1</sup> <http://landsaf.meteo.pt/>



Las estaciones meteorológicas con datos de radiación solar utilizadas de referencia fueron:

Estación	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (msnm)	Pertenencia	Entidad Provisora	Escala temporal	Frecuencia
La Viña	25°18'21"	65°31'05"	1198	-	SIGA <sup>2</sup>	MAY06-MAR16	60 MIN
Cafayate	26°06'00"	65°58'26"	1620	Bodega Etchart	SIGA	SET08-MAY16	30-60 MIN
Abra Pampa	22°47'56.4"	65°49'33.6"	3463	INTA AER Abrapampa	SIGA	OCT11-ENE16	5-15 MIN
El Pongo	24°22'55.2"	65°8'31.2"	979	Finca La Posta	Secretaria Energía de Jujuy	SET06-FEB16	15 MIN
El Rincón	24°01'12.9"	67°02'22.6"	3800	Enirgi Group	Enirgi Group	JUN09-DIC16	15 MIN

## ¿CÓMO CITAR LA INFORMACIÓN DEL ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR DE SALTA?

*Sarmiento Barbieri, Nilsa; Belmonte, Silvina; Dellicompagni, Pablo; Franco, Judith; Escalante, Karina.* (2017). **Atlas de Radiación Solar de la Provincia de Salta. Sistema de Información Geográfico Digital.** Grupo: Planificación Energética y Gestión Territorial. Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional. CONICET- UNSa. Salta. Argentina.

## LICENCIA



**Atribución – No Comercial – Compartir Igual (by-nc-sa):** No se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original.

## PUBLICACIONES ASOCIADAS

*Sarmiento Barbieri Nilsa M.; Silvina Belmonte; Pablo R. Dellicompagni; Judith Franco; Karina Escalante, Joaquín Sarmiento* - 2019 - **"A Solar Irradiation GIS as Decision Support Tool for the Province of Salta, Argentina"**. Renewable Energy. Vol. 132. pp 68-80 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.07.081>

<sup>2</sup> Sistema de Información y Gestión Agrometeorológico de INTA.



## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA PARA EL DESARROLLO DEL ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR DE SALTA

- Aristegui, R., y Righini, R. (2012). Discusión sobre el proceso de selección de sitios apropiados para la ubicación de estaciones de una futura Red Solarimétrica Nacional. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 16, 39-46.
- Belmonte, S (2009). Evaluación multicriterio para el uso alternativo de energías renovables en la Ordenación Territorial del Valle de Lerma." Tesis doctoral. Documento final y Cartografía digital. Doctorado en Ciencias - Área Energías Renovables. Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de Salta.
- Belmonte, S., Núñez, V., Franco, J., y Viramonte, J. (2006). Mapas de radiación solar para el Valle de Lerma (Salta-Argentina). *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 10, 11-49.
- Belmonte, S., Núñez, V., Viramonte, J. G., y Franco, J. (2009). Potential renewable energy resources of the Lerma Valley, Salta, Argentina for its strategic territorial planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 6-7.
- Ceballos, J. C., Bottino, M. J., y Righini, R. (2005). Radiación solar en Argentina estimada por satélite: Algunas características espaciales y temporales. Congreso Argentino de Meteorología, Buenos Aires Argentina, Argentina. Octubre 2015
- 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*, 15, 71-78.
- Crivelli E. y Pedregal M. A. (1972). Cartas de radiación solar global de la República Argentina. *Meteorológica*, III (1, 2, 3), 80-97.
- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts - ECMWF (2015). ERA-Interim dataset (January 1979 to present). Descargado de: <http://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/era-interim> el 10 de junio de 2015.
- Frulla, L. A., Gagliardini, D. A., Gallegos, H. G., Lopardo, R., y Tarpley, J. D. (1988). Incident solar radiation on Argentina from the geostationary satellite GOES: Comparison with ground measurements. *Solar Energy*, 41(1), 61-69.
- Geiger, B., Meurey, C., Lajas, D., Franchistéguy, L., Carrer, D., y Roujean, J.-L. (2008). Near real-time provision of downwelling shortwave radiation estimates derived from satellite observations. *Meteorological Applications*, 15(3), 411-420.
- Hoff, T. E., y Perez, R. (2010). Quantifying PV power Output Variability. *Solar Energy*, 84(10), 1782-1793.
- Hoff, T. E., y Perez, R. (2012). Modeling PV fleet output variability. *Solar Energy*, 86, 8, 2177-2189.
- Hoff, T. E., Perez, R., Kleissl, J., Renne, D., y Stein, J. (2013). Reporting of irradiance modeling relative prediction errors. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 21, 7, 1514-1519.
- Grossi Gallegos H. (1998). Distribución de la radiación solar global en la República Argentina. II. Cartas de radiación. *Energías Renovables y Medio Ambiente* 5, 33-42.
- 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*, 6, 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, 6, 535-576.
- INTA. (2015). La Argentina medirá la radiación solar en tiempo real. Descargado de: <http://intainforma.inta.gov.ar/?p=28333> el 5 de Agosto de 2015.
- Jarvis, A., Reuter, H. I., Nelson, A., y Guevara, E. (2008). Hole-filled SRTM for the globe Version 4. Descargado de: <http://srtm.csi.cgiar.org>
- LandSAF. (2010). Product User Manual, Down-welling Shortwave Flux (DSSF). Descargado de: <http://landsaf.meteo.pt/GetDocument.do?id=295> el 8 de Junio de 2015
- Laspiur, R., Salazar, G. A., Zerpa, J., y Watkins, M. (2013). Trazado de mapas medios anuales de energía solar global, directa, difusa y tilt, usando la base de datos de SWERA. caso de estudio: provincias de Salta y Jujuy. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 17, 47-52
- 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*, 13, 11-07.



- Raichijk, C. (2012). Control de calidad de mediciones de radiación solar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 16, 17-22.
- Raichijk, C., y Taddei, F. (2012). Estudio comparativo de modelos empíricos de estimación de la radiación solar directa horaria. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 16, 23-29
- Ramírez Camargo, L., Zink, R., y Dorner, W. (2015). Spatiotemporal modeling for assessing complementarity of renewable energy sources in distributed energy systems. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-4/W2, 147-154.
- Ramírez Camargo, L., Zink, R., Dorner, W., y Stoeglehner, G. (2015). Spatio-temporal modeling of roof-top photovoltaic panels for improved technical potential assessment and electricity peak load offsetting at the municipal scale. *Computers, Environment and Urban Systems*, 52, 58-69.
- Ramírez Camargo L. R., W. Dorner. (2016). Integrating satellite imagery-derived data and gis-based solar radiation algorithms to map solar radiation in high temporal and spatial resolutions for the province of Salta, Argentina, in: *Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications VII*. doi:10.1117/12.2242042.
- Righini, R. (2004). Empleo de imágenes satelitales GOES 8 en el cálculo de la irradiación solar global en distintas zonas de Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 8, 2, 1-6.
- Righini, R., Aristegui, R., y Roldán, A. (2014). Determinación de la cantidad de años de medición necesarios para la evaluación de la radiación solar global a nivel de superficie en Argentina, *Acta de la XXXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2, 17-25.
- Righini, R. y Barrera, D. (2008). Empleo del modelo de Tarpley para la estimación de la radiación solar global mediante imágenes satelitales GOES en Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 12, 2, 9-15.
- Righini, R., y Grossi Gallegos, H. (2000). Trazado de las cartas solarimétricas de la Pampa Húmeda empleando métodos geoestadísticos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 4, 2, 11-25.
- Righini, R., y Grossi Gallegos, H. (2003). Aproximación a un trazado de nuevas cartas de irradiación solar para Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 7, 2, 11-07.
- Righini, R., Grossi Gallegos, H., y Raichijk, C. (2005). Approach to drawing new global solar irradiation contour maps for Argentina. *Renewable Energy*, 30, 8, 1241-1255.
- Roerink, G. J., Bojanowski, J. S., de Wit, A. J. W., Eerens, H., Supit, I., Leo, O., y Boogaard, H. L. (2012). Evaluation of MSG-derived global radiation estimates for application in a regional crop model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 160, 36-47.
- Salazar G., A. Hernández, L. Saravia (2010). Practical models to estimate horizontal irradiance in clear sky conditions: Preliminary results, *Renewable Energy* 2452-2460.
- Salazar, G. A., Hernández, 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*, 1, 3, 9-20.
- Sayago, S., Bocco, M., Ovando, G., y Willington, E. (2011). Radiación solar horaria: modelos de estimación a partir de variables meteorológicas básicas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 15, 51-57.
- Taddei, F., Melendez, S., Cuestas, Y., y Collé, 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*, 2, 63-75.