

## **EVALUACIÓN DEL RECURSO SOLAR EN LA PROVINCIA DE SANTA FE PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA**

**Gustavo Risso<sup>1</sup>, Mario Battioni<sup>1</sup>, Miriam Cutrera<sup>1,2</sup>, Damián Bleger<sup>3</sup>, Javier Schmidt<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> IFIS-Litoral, CONICET-UNL. Güemes 3450, 3000 Santa Fe

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería Química, UNL, Güemes 3450, 3000 Santa

<sup>3</sup> Sub-Secretaría de Energías Renovables, Secretaría de Estado de la Energía,  
Gobierno de la Provincia de Santa Fe

*Recibido 04/09/15, aceptado 05/10/15*

**RESUMEN:** A partir del interés del Gobierno de la Provincia de Santa Fe por conocer el recurso solar incidente en el territorio, desde enero de 2015 el Grupo GENOC del Instituto de Física del Litoral (IFIS-Litoral) está relevando y procesando datos provenientes de cinco puntos de la Provincia. Se instalaron equipos de medición de radiación solar y datos climáticos en Estaciones Transformadoras de la Empresa Provincial de la Energía. El estudio permitirá ver la factibilidad de aprovechar este recurso para la producción de energía, ya que se cubre todo el territorio para hacer un mapa de la radiación solar en la provincia. En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos durante la primera mitad del año 2015.

**Palabras claves:** red solarimétrica, energía, datos climáticos.

### **INTRODUCCIÓN**

Las fuentes convencionales de energía, que aún hoy siguen abasteciendo la mayor parte del consumo energético mundial, son las principales causantes de los cambios climáticos debidos a la emisión de gases que provocan el efecto invernadero. Sin embargo, se está tomando conciencia de la necesidad de cambiar la matriz energética mundial, utilizando las energías renovables que hay disponibles para su aprovechamiento. Al mismo tiempo que en países como Alemania la energía fotovoltaica ya provee alrededor del 6,5% del consumo de electricidad, en Argentina es prácticamente nulo el porcentaje de energías renovables usadas. Se puede mencionar en este aspecto a la Provincia de Santa Fe como una de las primeras en comenzar a fomentar el uso de la Energía Fotovoltaica en instituciones tales como Escuelas Rurales de la región (Cutrera *et al.*, 1998 y 2000).

Con respecto a evaluar el recurso solar disponible, Grossi Gallegos ha aportado desde hace muchos años su trabajo para elaborar un Atlas de Energía Solar del país y de América Latina (Grossi Gallegos *et al.*, 2008). También el Grupo GERSolar, de la Universidad de Luján, instaló equipos de medición en la Pampa Húmeda, en estaciones meteorológicas pertenecientes al INTA de Paraná, Pergamino, Balcarce, Anguil, Marcos Juárez, General Villegas y Barrow (Righini y Aristegui, 2013).

En la actualidad, el Gobierno de la Provincia de Santa Fe tiene interés en sumar las energías renovables a la matriz energética provincial. En este sentido, la Secretaría de Estado de la Energía de la Provincia, a través de la Subsecretaría de Energías Renovables, busca conocer con mayor precisión qué potencia de radiación solar llega a las distintas zonas del territorio santafesino. Con esos datos se pretende analizar si el recurso solar es aprovechable para generar electricidad, ya sea en forma directa por medio de paneles solares (energía fotovoltaica), o en forma indirecta a través de calentar algún fluido (energía solar térmica). Conocer esos datos posibilitará que cualquier empresa que quiera producir energía solar en Santa Fe sepa anticipadamente con qué recursos cuenta, ya que el tiempo de repago de la inversión dependerá de cuánta energía pueda producir.

Con el objetivo de desarrollar el proyecto antes mencionado, se realizó un Acuerdo Específico de Asistencia Técnica para conformar la RED SOLARIMÉTRICA de la Provincia de Santa Fe, midiendo la radiación solar y otros parámetros climáticos que tienen influencia sobre el rendimiento de los sistemas que se usen para capturar la energía solar. La medición se realiza en cinco puntos de la Provincia, en predios donde se encuentran ubicadas Estaciones Transformadoras de la Empresa

Provincial de la Energía. Los puntos elegidos son, en el norte de Santa Fe: Tostado (Departamento 9 de Julio) y Reconquista (Departamento General Obligado), en el centro: Elisa (Departamento Las Colonias), centro – sur: Cañada Rosquín (Departamento San Martín) y sur: Firmat (Departamento General López).

La Provincia, en conjunto con la UNL, asignaron al Grupo de Energías No Convencionales (GENOC), dependiente de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ-UNL) y del Instituto de Física del Litoral (IFIS-Litoral, UNL – CONICET), la tarea de brindar los servicios científicos y técnicos de instalación de equipamiento, puesta en servicio, operación, obtención y análisis de datos, mantenimiento del equipamiento instalado y presentación de informes sobre los promedios diarios y mensuales de la densidad de energía que llega en kWh/m<sup>2</sup>/día, y datos climáticos que influyen en los sistemas de obtención de energía. En este trabajo, se describe la Red Solarimétrica de la Provincia de Santa Fe y se presentan los primeros datos obtenidos hasta el momento.



*Figura 1: Recepción de Equipos*



*Figura 2: Grupo Completo Instalado*



*Figura 3: Detalle de Equipos*

## INSTALACIÓN DEL EQUIPAMIENTO DE LA RED SOLARIMÉTRICA

Cada estación de medición está conformada por un Piranómetro calibrado KIPP & ZONEN, modelo CMP6, que mide la Radiación Solar Global y es la parte más importante del equipo. 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 registrador de datos (*datalogger*) marca TECMES, modelo TS2621 para almacenamiento de datos; un Panel solar marca SOLARTEC para alimentar el sistema; un tablero general de comando del sistema con Gabinete de protección; un Módem GPRS marca TECMES AS3006 con Adaptador RSR232 a USB y una antena de recepción y transmisión de datos (Figs.1 a 3)

El GENOC evaluó, dentro de las cinco Estaciones Transformadoras de la E.P.E. ya mencionadas, las posibles ubicaciones físicas del equipamiento, la calidad de señal de la red celular, dado que los datos medidos se transmiten por medio de las redes de comunicación celulares GPRS, las modalidades y mecanismos de fijación, conexión e instalación de los sensores, registrador de datos y demás equipos. Una vez hechas estas verificaciones, se instaló el equipamiento en los lugares elegidos y puso en marcha la red en su conjunto.

## OPERACIÓN, OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

El equipamiento, que trabaja en forma autónoma, acumula los diferentes datos y luego los transmite a un centro de procesamiento ubicado en la ciudad de Santa Fe. Los datos se toman cada tres minutos, y se transmiten una vez por hora. Se cuenta con un sistema de comunicación basado en telefonía celular que envía la información, además de un panel solar que alimenta la batería del equipo. Los datos son recibidos en una computadora central de donde se capturan para su procesamiento. La Figura 4 muestra la ventana de Internet a través de la cual se accede al control de funcionamiento a distancia y obtención de los datos enviados.



Figura 4: Pantalla de control de estado de las estaciones.

Se elaboran mensualmente resúmenes con la siguiente información de cada Estación:

1.) Gráficos de radiación global en el plano horizontal. (Fig. 5).

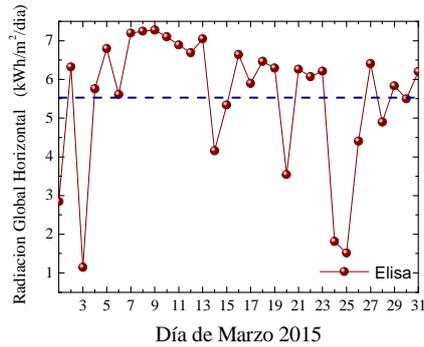


Figura 5: Radiación Global en el plano horizontal. La línea horizontal indica el valor medio mensual

2.) Gráficos de temperatura, presión atmosférica y humedad. (Figs. 6)

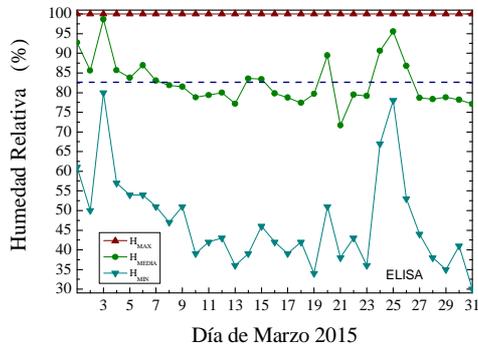
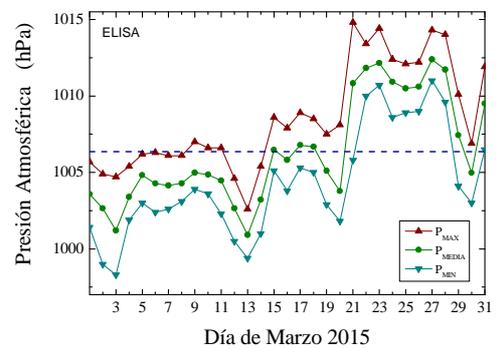
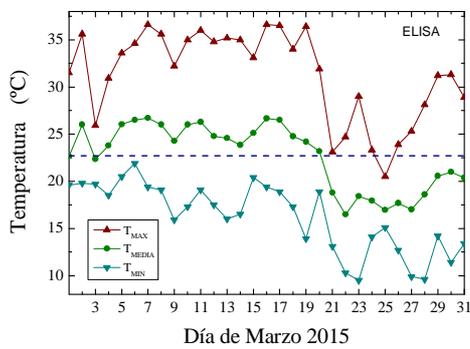


Figura 6: Temperaturas, Presión Atmosférica y Humedad. La línea horizontal indica el promedio mensual

3.) Gráfico de la rosa de los vientos. (Fig. 7)

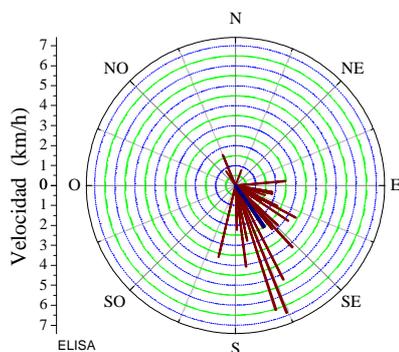


Figura 7: Dirección y velocidad del viento. La barra azul indica el promedio mensual

4.) Se presenta una comparación del promedio mensual de radiación global en el plano horizontal, entre los datos medidos y los suministrados por la Agencia Espacial Norteamericana (*National Aeronautics and Space Administration*, NASA).

La comparación es para los meses en los que se cuenta con series de datos razonablemente completos (datos para al menos 75 % de los días del mes). En la misma Tabla se muestra el Error Relativo Porcentual entre ambos tipos de datos y el promedio Total de los valores para los meses relevados (Tabla 1)

		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Total
<b>Tostado</b>	<b>Medida</b>			5,47	4,49	2,80	2,46	3,27	<b>3,70</b>
	<b>NASA</b>			4,99	3,83	3,20	2,62	3,02	<b>3,53</b>
	<b>Error %</b>			+9,2	+15,9	-13,3	-6,3	+7,9	<b>+4,6</b>
<b>Reconquista</b>	<b>Medida</b>		5,86	5,63	4,79	3,14	2,71	3,08	<b>4,20</b>
	<b>NASA</b>		5,99	5,08	3,81	3,27	2,65	3,04	<b>3,97</b>
	<b>Error %</b>		-2,2	+10,3	+22,8	-4,1	+2,2	+1,3	<b>+5,6</b>
<b>Elisa</b>	<b>Medida</b>	7,10	5,83	5,53	4,65	3,17	2,57	3,31	<b>4,59</b>
	<b>NASA</b>	6,77	6,08	4,99	3,82	3,10	2,56	2,90	<b>4,32</b>
	<b>Error %</b>	+4,8	-4,2	+10,3	+19,6	+2,2	+0,4	+13,2	<b>+6,2</b>
<b>Cañada Rosquin</b>	<b>Medida</b>	7,42	5,51	5,04	4,09	3,00	2,63	2,92	<b>4,37</b>
	<b>NASA</b>	6,97	6,10	5,01	3,79	2,93	2,43	2,77	<b>4,29</b>
	<b>Error %</b>	+6,3	-10,2	+0,6	+7,6	+2,4	+7,9	+5,3	<b>+2,0</b>
<b>Firmat</b>	<b>Medida</b>	6,72	5,94	4,65	3,28	1,94	2,39	2,52	<b>3,92</b>
	<b>NASA</b>	7,05	6,23	4,99	3,77	2,83	2,31	2,66	<b>4,26</b>
	<b>Error %</b>	-4,8	-4,8	-7,1	-13,9	-37,3	+3,4	-5,4	<b>-8,4</b>

Tabla 1: comparación de Radiación ( $KWh/m^2/día$ ), con datos de la NASA – Error relativo porcentual

Lo medido por la Red Solarimétrica corresponde al presente año 2015, mientras que los valores de la NASA, obtenidos por mediciones satelitales y no por equipamiento instalado en el lugar de interés, corresponden a un promedio sobre 22 años (Jul. 1983 – Jun. 2005). Esto puede ocasionar discrepancias debido a variaciones climáticas de este año en particular.

Como se demuestra en el trabajo de Sanchez Reinoso (Sanchez Reinoso *et al.*, 2012), las condiciones climáticas influyen en gran medida sobre el rendimiento de los paneles fotovoltaicos, por lo que es importante conocer su comportamiento en las distintas regiones.

Los datos obtenidos hasta el momento presentan un comportamiento similar al informado para el caso de la Pampa Húmeda, (Righini y Aristegui, 2013). Es de esperar que, a medida que haya más datos, los promedios medidos y los informados por la NASA tiendan a coincidir. De todas formas, se estima que los datos medidos por la Red Solarimétrica reflejan mejor las condiciones locales.

La Figura 8 presenta el gráfico de valores promedio mensual de radiación para la estación de Elisa, comparados con los reportados por la NASA. Se puede apreciar que el comportamiento es razonablemente similar en ambos casos, teniendo en cuenta los pocos meses relevados hasta el momento.

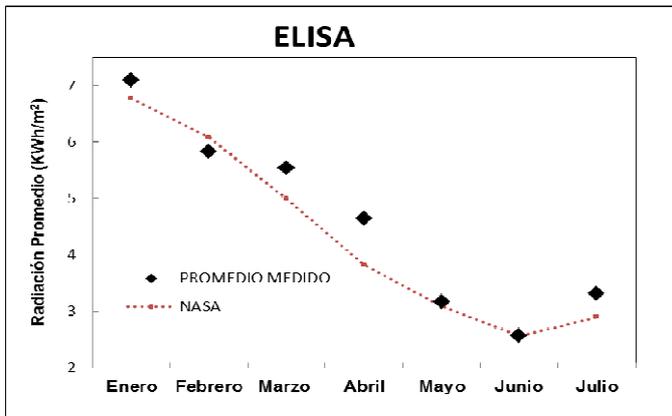


Figura 8: Promedio de Radiación comparado con los valores dados por la NASA en función del mes.

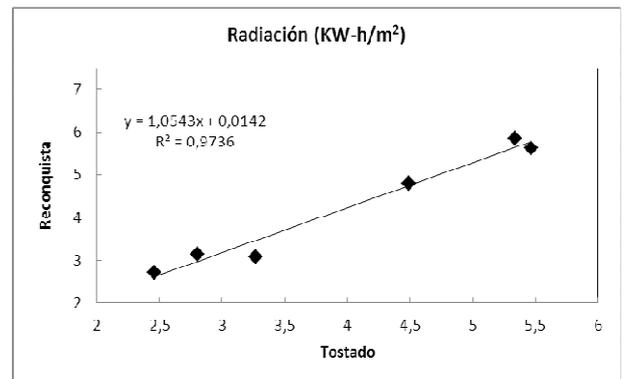
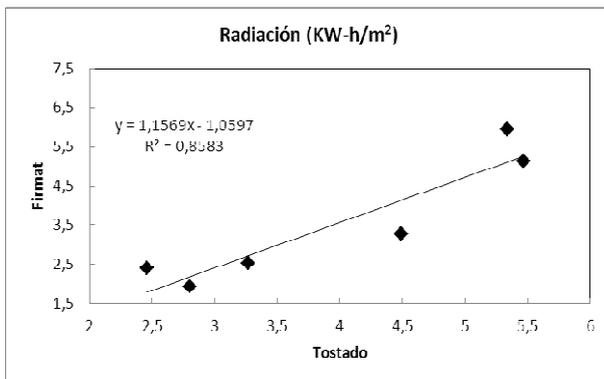
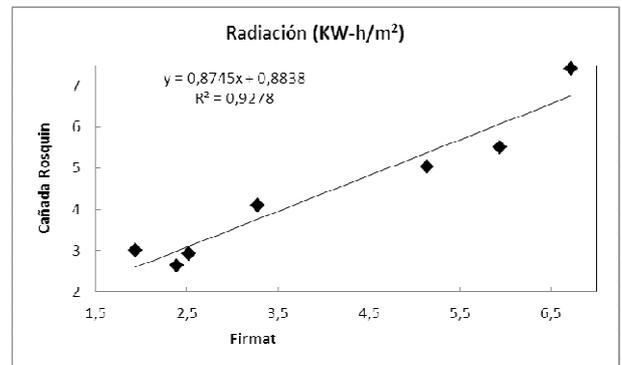
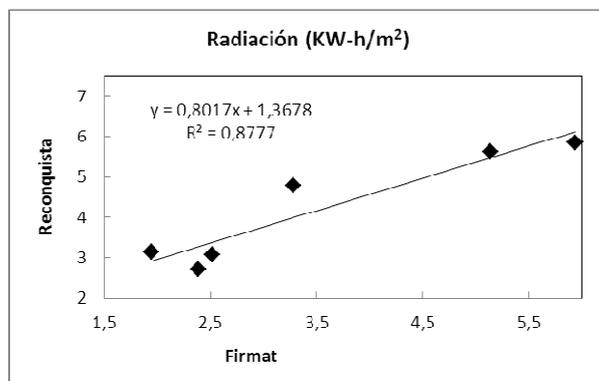


Figura 9: Comparación de Promedios Totales de Radiación entre Estaciones.

En la Figura 9 se presenta una correlación entre pares de estaciones meteorológicas para datos de radiación solar. Como es de esperar, se observa que las localidades próximas - como Tostado y Reconquista - se comportan en forma similar y la correlación entre los valores es muy buena. A medida que las estaciones están a mayor distancia disminuye el  $R^2$ , indicando la diferencia de condiciones de radiación.

### MANTENIMIENTO DE LA RED SOLARIMÉTRICA

Periódicamente el GENOC controla a distancia, por medio de la red celular GPRS, el funcionamiento del sistema. También se realizan visitas de mantenimiento preventivo a cada estación, para mantener

el buen estado de los sensores solarimétricos, demás equipos y paneles fotovoltaicos de alimentación de los sistemas. Durante las visitas e inspecciones se resuelven las falencias y fallas que pudieran surgir y que no hayan sido detectadas a distancia. También se concurre a la instalación donde se detecte que una falla impide la recolección de información.

## CONCLUSIONES

Se ha dado el primer paso para la construcción de una Red Solarimétrica de la Provincia de Santa Fe, con el complemento de los datos climáticos de las distintas Regiones. Hasta el momento los equipos están brindando la información esperada, con pocas dificultades de funcionamiento y algunos ajustes necesarios. En el futuro, es de esperar que esta red pueda formar parte de una más amplia, que abarque todo el territorio Provincial y se integre a la red Nacional.

Los resultados muestran un buen nivel de Radiación y valores que pueden compararse con los informados por la NASA. A medida que se recolecten más datos se podrán tener conclusiones más precisas con respecto a la calidad del Recurso Solar en el territorio provincial y el aprovechamiento factible.

El GENOC, que depende de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) y del Instituto de Física del Litoral (IFIS-Litoral), está compuesto por Dr. Román Buitrago, Dr. Roberto Arce, Ing. Miriam Cutrera, Ing. Mario Battioni, Ing. Gustavo Risso y Dr. Javier Schmidt.

## REFERENCIAS

Cutrera M.E., Koropecski R.R., Buitrago R.H. (1998). Estudio del comportamiento de los sistemas fotovoltaicos instalados en las escuelas rurales del norte santafecino. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 2, 4.37.

Cutrera M.E., Battioni M., Gottlieb B., Risso G., Koropecski R.R, Arce R.D, Buitrago R.H . (2000) Estadística de fallas en 150 sistemas fotovoltaicos luego de 5 años de funcionamiento. *Proceedings del XXIII Congreso de ASADES*. 23, 401.

Grossi Gallegos H., Righin R., Raichijk C. (2008). Propuesta para la Elaboración de un Atlas de Energía Solar de América del Sur. *Acta del XIV Congreso Ibérico y IX Congreso Iberoamericano de Energía Solar*. 1155-1160.

Righini R., Aristegui R. (2013). Análisis de datos de la red solarimétrica pampeana. *Acta de la XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*. 1, 11.37-11.46.

Sánchez Reinoso C. R., Cutrera M., Battioni M., Milone D. H. and Buitrago R. H. (2012). Photovoltaic generation model as a function of weather variables using artificial intelligence techniques. *International Journal of Hydrogen Energy, Elsevier Science*. 37, 19, 14781-14785.

## ABSTRACT

Due to the interest of the Government of the Santa Fe Province in knowing the solar resource incident on the territory, since January 2015 the GENOC Group of the Litoral Physics Institute (IFIS-Litoral) is relieving and processing data from five points in the province. Measurement equipment for solar radiation and climate data were installed in Transformer Stations of the Provincial Energy Company. The study will establish the feasibility of exploiting this resource for energy production, since it covers the entire territory to map the solar radiation in the province. In this paper, the results obtained during the first half of 2015 are shown.

**Keywords:** solarimetric network, energy, climatic data.