

Tema 11 – Radiación solar y clima

METODOLOGÍA PARA EL TRAZADO DE LAS CARTAS SOLARES DE LA PAMPA HÚMEDA ARGENTINA

R. Righini, R. Aristegui

GERSolar, INEDES-CONICET, Universidad Nacional de Luján, Av. Constitución y Ruta 5, (6700)
Luján, Buenos Aires, Argentina – Tel. +54-2324-440241- gersolar@yahoo.com.ar

RESUMEN: El creciente interés en el aprovechamiento energético de la radiación solar evidencia la necesidad de contar con cartas actualizadas de los niveles de irradiación solar a nivel de la superficie terrestre. El dimensionamiento de los sistemas de aprovechamiento en general y, en particular, de las plantas fotovoltaicas productoras de energía eléctrica, requiere de un conocimiento de la variabilidad espacio temporal del recurso. Con ese objetivo, diversas provincias argentinas han confeccionado mapas de irradiación solar o han recurrido a estimaciones realizadas con imágenes satelitales. La región de la Pampa Húmeda Argentina presenta cualidades que justifican emprendimientos de aprovechamiento de la radiación solar: niveles relativamente altos de irradiación, notable actividad económica y una gran población, además de una cantidad de redes de distribución eléctrica que resultan accesibles. El presente trabajo evalúa los requerimientos necesarios para trazar las futuras cartas de irradiación solar de esta región que el GERSolar emprenderá durante este año.

Palabras clave: Pampa Húmeda, aprovechamiento energético, cartas de radiación solar

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de los niveles de irradiación solar resulta imprescindible para su aprovechamiento como fuente de energía primaria en la generación eléctrica fotovoltaica, su empleo en colectores destinados a calentar agua, su uso en modelos de evapotranspiración potencial del suelo, entre otras aplicaciones relacionadas con la agronomía, y en los diferentes procesos biológicos que requieren información sobre la principal fuente de energía de la biósfera.

En ese sentido el país ha realizado numerosos esfuerzos que se iniciaron en los años '70 cuando se estableció la Red Solarimétrica y que fueron continuados por distintos grupos que confeccionaron cartas de irradiación de diversas zonas del país apelando a una variada serie de datos y estimaciones. Un antecedente importante lo constituye el trabajo de Grossi Gallegos (Grossi Gallegos 1997, 1998 a, 1998 b) que dio lugar a las Cartas de Radiación Solar de Argentina (Grossi Gallegos y Righini, 2007). Esas cartas constituyeron una muy buena descripción de la distribución espacio-temporal del recurso solar usando la tecnología disponible en ese momento. No obstante, deben ser necesariamente actualizadas habida cuenta que, en un posible proceso de cambio climático, los valores medios mensuales de irradiación solar pueden sufrir variaciones y que el instrumental y la tecnología disponibles al día de hoy permite evaluarlos con mayor resolución espacio-temporal.

La sanción de la ley 27191 y su decreto reglamentario, que establece las pautas para el fomento del uso de energías renovables destinadas a la producción de energía eléctrica, ha generado un interés marcado por parte de distintos actores privados que desean participar del negocio de la instalación de centrales de generación fotovoltaica y de varias provincias que fomentan la inversión en este tipo de emprendimientos.

Como ejemplo puede citarse la confección del Atlas Solar de las provincias de Jujuy y Salta (J. Franco et al. 2016; N. Sarmiento et al. 2017).

La zona de nuestro país correspondiente a la Pampa Húmeda no escapa a ese interés creciente el que se ve potenciado por su importante nivel de actividad económica y su elevada población. Varios emprendimientos de instalación de centrales fotovoltaicas de dimensiones relativamente pequeñas ya han sido realizados y, se espera que constituyan la primera fase de una serie de instalaciones de potencia mayor.

A menudo los grupos de inversión requieren información actualizada y suele recurrirse a información proveniente de imágenes satelitales para estimar el recurso solar. Si bien existen diversos modelos de estimación y su uso, en ocasiones, resulta recomendado, debe considerarse que dichos modelos de estimación no siempre describen adecuadamente la distribución del recurso, llevando a cometer errores que pueden producir una incorrecta evaluación de la factibilidad económica de los emprendimientos (Righini y Aristegui, 2016), por lo que dichos modelos deben, necesariamente, ser cotejados y corregidos con datos medidos en tierra que provean los valores medios con el nivel de confianza que la aplicación específica requiera.

El GERSolar en conjunto con el INTA, administra una red de medición de la radiación solar en la Pampa Húmeda argentina que funciona desde hace más de 5 años instalada en diversas estaciones experimentales de INTA y el predio del GERSolar. Las estaciones están instaladas en: Luján (Bs. As), General Villegas (Bs. As), Pergamino (Bs. As), Barrow (Bs. As), Balcarce (Bs. As.), Anguil (La Pampa), Marcos Juárez (Córdoba), Concepción del Uruguay (Entre Ríos) y Paraná (Entre Ríos), contando éstas con piranómetros termoelectrónicos Kipp&Zonen (CMP11 y CM5) y Eppley (modelo 8-48 Black & White) e integradores Campbell (CR1000 y CR800). La frecuencia de muestreo de datos es de 1 por segundo, almacenándose las integrales cada minuto. La información recolectada por la red en lo que hace a su extensión territorial y temporal permite, a nuestro juicio, una primera aproximación al trazado de cartas de irradiación solar para la zona en cuestión, habida cuenta de la urgencia con que los organismos oficiales reclaman información que permita evaluar inversiones relacionadas con la energía solar.

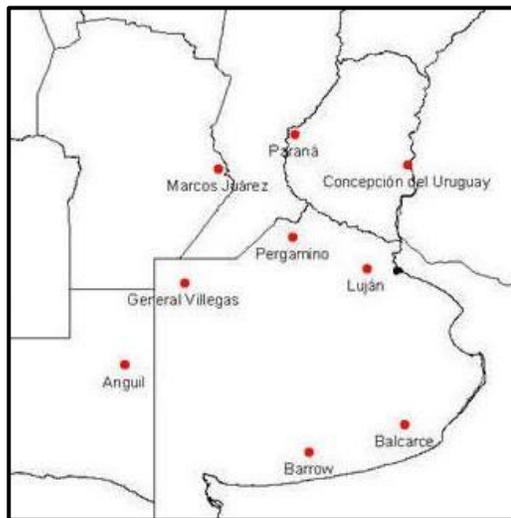


Figura 1: Estaciones de medición de la red GERSolar-INTA

En los apartados siguientes del presente artículo se discutirá la metodología que se usará para confeccionar las cartas de irradiación solar de la zona descrita. Si bien el análisis se centrará sobre dicha región, aspiramos a que la discusión metodológica permita establecer reglas que sean adoptadas para el trazado de cartas en otras zonas de Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Exactitud de la información presentada

Para realizar un atlas de radiación deben responderse, en términos generales, una serie de preguntas fundamentales que hacen a la representación de la información. Ellas son: ¿cuál es el error con que se presentará la información? ¿cuál el intervalo de confianza de los datos entregados? ¿cuál la resolución espacial y temporal con que se representarán los datos?

Las respuestas están claramente vinculadas con la finalidad general que tengan las cartas (con qué objetivo se las confeccionará) y las posibilidades que brinde la información disponible y su procesamiento posterior. Cada una de las respuestas a los interrogantes planteados definirá un conjunto de decisiones y parámetros que habrán de considerarse. Así:

La finalidad general de las cartas incidirá en el tipo de información que habrá de presentarse. La resolución temporal determinará la cantidad de datos que se analizarán, y la frecuencia de muestreo que se requerirá de la fuente. La resolución espacial fijará la escala a la que representarán los datos y, en todo caso, el mecanismo de interpolación de los mismos. El error admitido para la información y el intervalo de confianza de la misma, determinarán la extensión de la serie de datos que deberán procesarse y el instrumental o el mecanismo de estimación que los provea.

Finalidad de las cartas

En el caso de las cartas de la Pampa Húmeda argentina, la finalidad es proveer información con vistas a su aprovechamiento energético. Los potenciales usuarios de las mismas corresponden, por lo tanto, a un público amplio que abarca desde pequeños usuarios hasta grandes empresas generadoras de energía. El dimensionamiento de los sistemas de aprovechamiento energético, ya sea para individuos o empresas requiere de información básica sobre la distribución espacio temporal del recurso solar.

Aquellos que dimensionan equipos pueden hacerlo de manera grosera con el dato de irradiación solar diaria media anual. Ese tipo de datos está disponible en internet en fuentes que pueden tener aparejados errores importantes (superiores al 30% en algunos casos). El mapa anual resultante suele ser lo suficientemente descriptivo como para tener una idea del potencial de irradiación solar disponible en determinada zona, pero insuficiente para realizar estimaciones más complejas y operar de manera eficiente los dispositivos que habrán de aprovecharla. Resulta, por lo tanto, mucho más útil presentar cartas de irradiación solar media diaria mensual. Los datos medios mensuales permiten tener una idea más precisa de la importante variación estacional que presenta el recurso solar en nuestro país, dimensionar adecuadamente aquellos dispositivos cuyo funcionamiento resulta crítico en épocas de baja radiación, estimar los ángulos óptimos en los que habrá que orientarlos con el fin de maximizar la energía colectada y, eventualmente, evaluar las pérdidas que se producirán por barreras que proyecten sombras en diferentes épocas del año.

A título de ejemplo se muestran distintos escenarios de colección de energía por un plano inclinado en la ciudad de San Juan, bajo diferentes ángulos de inclinación. En los meses invernales, cuando la radiación es menor y el sol está a menor altura, suele resultar conveniente elegir un ángulo de inclinación que optimice la irradiación sobre el plano de los paneles. Complementariamente, durante el resto del año se suele elegir otro ángulo que haga máxima la energía colectada en ese período. En la Tabla 1 se muestra la energía colectada por metro cuadrado en cuatro escenarios para la ciudad de San Juan: uno en los que el panel se mantiene fijo a una inclinación que optimiza la colección anual, otro en el cual el ángulo se varía anualmente dos veces, maximizando la colección en invierno y durante el resto del año, y un último donde se muestra la energía recogida por planos con seguimiento continuo del sol en dos ejes (tracking).

Escenario	Energía anual colectada (MWh/m ²)	Variación porcentual respecto al plano horizontal
Plano Horizontal	1,85	0
Con el ángulo óptimo anual	1,97	+6,9
Con el ángulo óptimo mensual	2,09	+13,24
Con dos ángulos óptimos estacionales	2,07	+12,15
Tracking	2,64	+43,02

Tabla 1: colección de energía por un plano en distintos escenarios de orientación para la ciudad de San Juan.

En todos los casos, los ángulos óptimos de inclinación deben deducirse, empleando un procedimiento tal como el descrito por Liu y Jordan (Liu y Jordan, 1951), de los valores medios de irradiación solar diaria media mensual, por lo que contar con esa información resulta de suma utilidad al proyectista.

Teniendo presente este tipo de objetivos se confeccionarán 13 cartas de irradiación solar media diaria mensual de la Pampa Húmeda argentina: 12 mensuales y la carta anual.

Instrumental usado y errores

El instrumental solarimétrico del cual provengan los datos a emplearse en el trazado de cartas determinará, en parte, los errores de los valores diarios medios mensuales y del valor diario medio anual. Otra fuente de error la constituye el adquirente de datos que almacena los datos producidos por el piranómetro. El instrumental utilizado en la red pampeana está constituido por piranómetros Kipp&Zonen, modelos CMP11, CMP5 y Eppley, modelo 8-48 (Black & White). Todos ellos son regularmente calibrados (cada dos años) por el GERSolar y el error de sus mediciones se evalúa en un 5%. Ese valor de error en la medición instrumental resulta plenamente aceptable para la mayoría de las aplicaciones que utilicen la energía solar como fuente primaria de energía. Los adquirentes de datos empleados son de la firma Campbell, modelos CR1000 y CR800, aportando un error en la medición de voltaje que resulta despreciable frente a los errores con que se determinan las constantes de los solarímetros.

Cálculo del número de años de datos necesarios para el trazado de las cartas

La importancia de conocer los años de medición necesarios para determinar los valores medios no puede obviarse: de considerarse un número de años menor que los requeridos, los mismos pueden diferir significativamente de los valores medios reales (asumidos como los valores medios tomados a largo plazo) y, por lo tanto, las predicciones de factibilidad y el dimensionamiento de los sistemas de aprovechamiento energético pueden verse afectadas.

La cantidad de años de información necesarios depende de la ubicación del sitio en que se desee evaluar, de la incerteza máxima que se admita en los valores diarios medios, ya sea mensuales o anuales, y del intervalo de confianza que se estipule.

Para evaluar la variabilidad del recurso solar, de la que depende el número de años de medición, se recurre a un trabajo anteriormente publicado (Righini y Aristegui, 2014). En ese trabajo se evaluaron 23 años de estimaciones satelitales realizadas por NASA a través de la aplicación del modelo SRB (Surface Radiation Budget). Dicho modelo de estimación es una modificación del modelo de Pinker, un modelo físico de transferencia radiativa, variación del originalmente desarrollado por Pinker y Laszlo (Pinker y Laszlo, 1992). Los datos provistos por NASA provienen del satélite GOES, abarcando el período 1983-2005 y se encuentran disponibles en el sitio web de Nasa: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/interann.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>.

La evaluación fue realizada utilizando las estimaciones del modelo para toda Argentina. Si bien dicho modelo no ha sido validado con estaciones de referencia en nuestro país, se asumió que la variabilidad de la radiación solar se verá bien representada por el mismo, aunque sus valores absolutos puedan diferir de los medidos en tierra. Para determinar la cantidad de años necesarios se calculó la desviación estándar σ de cada celda, para cada uno de los meses del año y para la media anual. Se seleccionó un nivel de incerteza (δ) y, en función de él, un error absoluto para cada mes (ϵ). En base a la desigualdad de Tschebichev, se determinó el número n de años de medición necesarios como $n \geq \left(\frac{z(p) \cdot \sigma}{\epsilon}\right)^2$, donde $Z(p)$ es el valor de la distribución de probabilidad t de Student con $n-1$ grados de libertad que establece en $1-p$ la probabilidad porcentual de que el valor de la media real se encuentre dentro del intervalo de confianza ($\bar{x} - Z(p) \cdot \sigma; \bar{x} + Z(p) \cdot \sigma$) con una media muestral \bar{x} calculada en n años.

Tal como se señala en ese trabajo, para las medias anuales son necesarios pocos años de medición aún para caracterizarlas con un nivel alto de confianza y un bajo nivel de error en las medias anuales. En general, para un error de las medias del 3% y un nivel de confianza de 95%, bastarían dos años de medición en casi todo el territorio nacional. Las medias mensuales, sin embargo, necesitan series de datos más prolongadas. En general, en el territorio de la Pampa Húmeda serían necesarios, en término medio, unos ocho años de medición para caracterizar las medias mensuales con un error del 5% y un intervalo de confianza del 90%. Dado que se asume que el error instrumental proveniente de los piranómetros empleados para medir la radiación es del 5%, consideramos que la zona de cobertura de estas cartas necesita de esa cantidad de años para evaluarla dentro de los límites fijados.

En función de esa información y, dado que la red administrada por el GERSolar está cerca de llegar a esa cantidad de años (en algunas estaciones ya la supera), parece conveniente abordar una primera versión actualizada de las cartas de irradiación solar para la zona.

En general, si se desea trazar cartas solares de diferentes regiones, es aconsejable abordar en primer lugar la discusión sobre la cantidad de años necesarios de medición o estimación del recurso para poder llegar a valores medios que resulten aceptables. El uso de una metodología como la propuesta en el presente trabajo y explicitada en el trabajo más arriba mencionado resulta, en nuestra opinión, apropiado para abordarla.

En lo que hace a la representatividad de la información que las Cartas de Radiación Solar de la Pampa Húmeda habrá de brindar, debe discutirse la propia representatividad de la serie de datos considerada para su determinación. En ese sentido la discusión principal debe responder al siguiente interrogante: ¿cuán representativos son los datos respecto a la situación actual? La respuesta depende de la variabilidad temporal del recurso que se intente cartografiar. En el caso de la radiación solar el recurso es, naturalmente variable, por lo que se procura obtener valores medios que sean descriptivos en promedio y, al mismo tiempo, que esos promedios no se vean afectados por la existencia de un ciclo de variabilidad de mayor plazo.

Para analizar la representatividad de los valores de las series de datos empleados se recurrió al artículo de Carlos Raichijk (Raichijk, 2012), en el cual un análisis realizado entre 1961 y 2004 revela que no existen tendencias significativas en la variación de la heliofanía en Sudamérica y en particular en la Pampa Húmeda.

Dado que la heliofanía y la irradiación solar están íntimamente correlacionadas, se asumirá que la serie de datos de radiación solar provenientes de la red administrada por el GERSolar resulta representativa de la zona en cuestión, y que las medias mensuales y anuales serán igualmente descriptivas de la distribución espacio temporal del recurso solar en la período actual.

Procesamiento de la información

Una vez establecida la cantidad de años necesaria para la evaluación del recurso con un error determinado y un intervalo de confianza fijado, debe analizarse la base de datos con el objetivo de depurar errores.

Las fuentes de error no solamente provienen de datos espurios sino que también pueden derivar de datos faltantes. Una serie de datos que no tenga la suficiente cobertura temporal presenta una alta probabilidad de evaluar incorrectamente los valores medios. Por tal motivo resulta necesario establecer un procedimiento que permita determinar cuáles datos serán incluidos en las series.

Para el trazado de las cartas de radiación solar de la Pampa Húmeda se procederá de la siguiente manera

- Se descartarán aquellos valores para los cuales el índice de transparencia atmosférica (kt, cociente entre la irradiación en superficie y la de tope de atmósfera) resulte mayor que uno.
- Se completarán valores faltantes, siempre y cuando no falten más de dos horas de datos durante el día.
- Se calcularán las medias mensuales de meses en los que no falten más de dos días (Hugo Grossi, 2016).

Mientras que el primer filtro aplicado proviene de un análisis primariamente físico (la irradiación en superficie no puede ser mayor que la de tope de atmósfera), los demás tienen que ver con la representatividad de la serie de datos. Un reciente trabajo de Carlos Raichijk (Raichijk, 2017) determina que más de dos horas faltantes en un día comprometen severamente la determinación del valor diario, en la región en estudio. El procedimiento de interpolación por medio del kt, destinado a completar los datos faltantes, no puede asegurar que el error del dato diario no exceda el 20% , por lo cual se decidió no considerar los días que presenten esa característica. El trabajo de Hugo Grossi (Grossi, 2016) estableció que un faltante de más de dos días de un mes puede producir errores que superen al error instrumental en la determinación de la media mensual, lo cual justifica descartar los meses con faltantes de datos de dos o más días.

Estimaciones satelitales

Si bien las estimaciones de los niveles de radiación solar a nivel de la superficie terrestre que empleen imágenes satelitales como dato de entrada pueden contener errores elevados en el cálculo de las medias mensuales (tal como se mencionó, superiores al 20% en algunos sitios), la zona correspondiente a la Pampa Húmeda resulta ser lo suficientemente uniforme orográficamente como para que estos errores no sean tan elevados. En tal sentido puede mencionarse como antecedente el artículo de Taddei (Taddei et al., 2014). Dicho trabajo evaluó el empleo del algoritmo Heliosat-2 en la estimación de la radiación solar en la Pampa Húmeda argentina. Los resultados fueron muy prometedores, presentando errores del orden del 10% en la estimación de datos diarios (y mucho menores para medias mensuales). Emplear un algoritmo como el mencionado (adaptado a las particularidades de la orografía del suelo y las condiciones atmosféricas locales) y complementar la información provista con el mismo con datos obtenidos por mediciones en tierra, puede dar lugar a cartas de gran calidad. En efecto, tal como se mencionara en Polo (Polo et al., 2016), la combinación de datos satelitales con datos de referencia terrestre puede dar lugar a cartas de irradiación de una zona lo suficientemente precisa para evaluar zonas favorables para aplicaciones energéticas.

A modo de ejemplo se muestran en las figuras 2 y 3, cartas de irradiación solar diaria media mensual estimada para la Pampa Húmeda argentina para el mes de enero con datos del satélite geoestacionario GOES, empleando el algoritmo Heliosat, que se encuentra operando en el servidor que el GERSolar tiene en la Universidad Nacional de Luján.

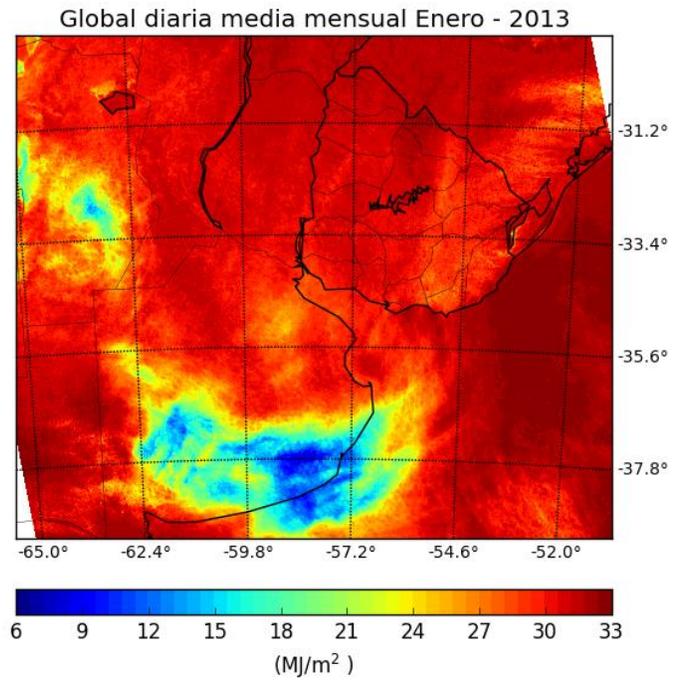


Figura 2: Irradiación solar diaria media mensual para Enero de 2013, estimada con el modelo Heliosat-2, en MJ/m²

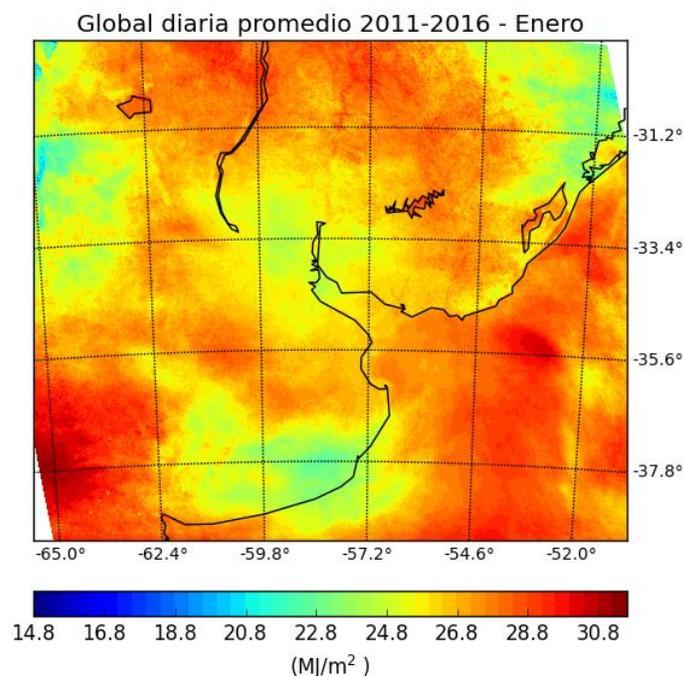


Figura 3: Irradiación solar diaria media mensual promedio para Enero (2011-2016), estimada con el modelo Heliosat-2, en MJ/m²

CONCLUSIONES

La necesidad de contar con datos representativos de los niveles de irradiación solar es cada vez más evidente ante un horizonte de diversificación de la matriz energética nacional, precios crecientes de los combustibles fósiles y posicionamiento en el mercado energético por parte de actores privados que desean intervenir para cumplimentar los objetivos que la Ley 27191 de fomento a las energías renovables. En particular, en la Pampa Húmeda argentina existen numerosas iniciativas de generación eléctrica por medio de centrales fotovoltaicas que requieren del conocimiento de la distribución espacio temporal del recurso para determinar las zonas de instalación, dimensionar las plantas y evaluar la energía que podrá generarse.

Dicha zona, además, presenta la mayor población del país, una actividad agropecuaria intensa y, por lo tanto, suma actores individuales que requieren del conocimiento de la distribución de la radiación solar para dimensionar los dispositivos de aprovechamiento energético que la empleen como fuente primaria.

Los requerimientos de información que demandan las aplicaciones energéticas coinciden con la precisión del instrumental que el GERSolar tiene instalado desde hace algunos años en su red pampeana y, determinan que la cantidad de años de medición necesarios para evaluar los valores diarios medios mensuales y el valor medio diario anual con un 5% de error y un intervalo de confianza del 95% sean alcanzables por los datos ya colectados por dicha red.

La combinación de los datos terrestres y de estimaciones efectuadas por medio de imágenes satelitales, provenientes del satélite geoestacionario GOES, a través del modelo Heliosat-2, permitirá corregir los errores de estimación inherentes al modelo, por lo cual se aplicará la metodología propuesta para el

trazado de las Cartas de Radiación Solar de la Pampa Húmeda Argentina durante el presente año con el objetivo de abastecer la demanda de información actualmente existente en la región.

ABSTRACT

The growing interest in the energy use of solar radiation has made evident the need to have up-to-date charts of solar radiation levels at the Earth's surface. The sizing of the systems of exploitation in general and, in particular, of photovoltaic plants producing electrical energy, requires a knowledge of the variability temporal space of the solar resource. With this objective, several Argentine provinces have made maps of solar irradiation or resorted to estimates made with satellite images. The Pampa Húmeda Argentina region has several qualities that make it attractive to undertake projects to exploit the energy of solar radiation: relatively high levels of irradiation, great economic activity and the largest population in the country, and a important number of accessible electric distribution networks. The present work evaluates the necessary requirements to trace future solar irradiation charts of the area that GERSolar will undertake during the current year.

Keywords: Pampa Húmeda Pampa Húmeda, energy use, solar radiation charts

BIBLIOGRAFÍA

- Grossi Gallegos H. (1997). Evaluación a nivel de superficie de la radiación solar global en la República Argentina. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Luján. 119 pp.
- Grossi Gallegos H. (1998 a). Distribución de la radiación solar global en Argentina. I. Análisis de la Información. Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 4, pp 119 – 123.
- Grossi Gallegos H. (1998 b). Distribución de la radiación solar global en Argentina. II. Cartas de Radiación. Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 5, pp 33 – 42.
- Grossi Gallegos H. y Righini R. Atlas de energía solar de la República Argentina, Universidad Nacional de Luján y la Secretaría de Ciencia y Tecnología, Buenos Aires, Argentina, 74 páginas + 1 CD-ROM, mayo de 2007 (ISBN 978-987-9285-36-7).
- Grossi Gallegos H (2016). Influencia de la pérdida de datos sobre los promedios de irradiación solar global. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISBN 978-987-29873-0-5, pp 11.75-11.83.
- Liu B.Y.H. y Jordan R.C. (1961) Daily insolation on surfaces tilted toward the equator. ASHRAE J. 3 (10), 53-59.
- Pinker R. y Laszlo I. (1992). Modelingsurface solar irradiance for satellite applicationson a global scale. J. Appl. Meteor. Vol 31. pp 194 – 211.
- Polo J., Wilbert S., Ruiz-Arias J.A. ,Meyer R., Gueymard C., Su´ri M., Martín L., Mieslinger T., Blanc P., Granti I., Boland J., Ineichen P., Remund J., Escobar R., Troccoli A., Sengupta M., Nielsen K.P., Renne D., Geuderr N., Cebecauerf T. Preliminary survey on site-adaptation techniques for satellite-derived and reanalysis solar radiation datasets . Solar Energy, 132 (2016) 25-37.
- Raichijk C. (2012) Observed trends in sunshine duration over South America.. Int. J. of Climatol., vol. 32, issue 5, pp. 669-680, DOI: 10.1002/joc.2296.
- Raichijk C. (2016). Comunicación personal.
- R. Righini, R. Aristegui y A. Roldán (2014). Determinación de la cantidad de años de medición necesarios para la evaluación de la radiación solar global a nivel de superficie en Argentina. Energías Renovables y Medio Ambiente. ISSN 0328-932X) vol. 34, pp. 13-20.
- R. Righini y R. Aristegui (2016) Plantas fotovoltaicas: perjuicios por no evaluar convenientemente el recurso solar. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISBN 978-987-29873-0-5, pp 08.69-08.76.