

TRAZADO DE LAS CARTAS SOLARIMÉTRICAS DE LA PAMPA HÚMEDA EMPLEANDO MÉTODOS GEOESTADÍSTICOS

Raúl Righini, Hugo Grossi Gallegos
División Física, Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján
Rutas 5 y 7, (6700) Luján, Buenos Aires, ARGENTINA
E-mail: righini@mail.unlu.edu.ar

RESUMEN: Se trazan las cartas solarimétricas correspondientes a la Pampa Húmeda para los meses de enero y julio, usando krigaje para el trazado de isolíneas. Los datos empleados corresponden a 16 estaciones situadas en la zona o adyacentes a la misma, obtenidos con piranómetros de la Red Solarimétrica o mediante estimaciones hechas a partir de heliógrafos del Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.) Las cartas obtenidas son comparadas con las cartas solarimétricas de la República Argentina elaboradas por Grossi Gallegos. El notable acuerdo entre las mismas revela la aptitud del krigaje para el trazado de isolíneas en mapas de irradiación solar, así como su potencial de aplicación como complemento de los modelos, tanto físicos como estadísticos, del cálculo de la irradiación solar global empleando medidas satelitales.

PALABRAS CLAVE: cartas solarimétricas, Pampa Húmeda, krigaje.

INTRODUCCIÓN

Las cartas solarimétricas siempre ha sido una herramienta de indudable importancia para la evaluación del recurso solar en una determinada zona. Las mismas permiten, mediante isolíneas, visualizar la variabilidad espacial y temporal de la irradiación solar, lo que constituye una información imprescindible para las tecnologías que se valen de la radiación del sol como recurso energético.

El trazado de estas cartas siempre es una tarea ardua, que requiere una base de datos depurada y un conocimiento empírico de la meteorología de la zona para obtener un producto confiable. En particular, es de destacar que la presencia de grandes masas boscosas, de montañas y de microclimas hacen dificultoso el trazado de mapas de irradiación solar global basándose únicamente en los datos proporcionados por estaciones terrenas de medición de la radiación solar (Grossi Gallegos, 1998). No obstante, en zonas planas, que no detentan una gran presencia de vegetación y cuya característica general sea la regularidad del terreno, es posible trazar cartas de irradiación solar global empleando métodos geoestadísticos de interpolación entre estaciones para el trazado de las isolíneas.

Dentro de los métodos geoestadísticos, el krigaje (también conocido como “kriging”) es un método de interpolación lineal optimal, ya que minimiza los errores cometidos en la estimación del campo de radiación, incorporando información de la estructura de ese campo por medio de una función denominada variograma (Aguilar, 1999).

La objetividad de dicho método en el trazado de isolíneas le ofrece un campo de aplicación amplio en llanuras extensas, donde la baja densidad de las redes de medición (o su inexistencia en algunos casos) obliga a emplear métodos de interpolación para la obtención de las cartas de irradiación solar.

De igual forma, el método se revela particularmente apto para tratar con datos obtenidos mediante los modelos existentes de evaluación de la irradiación solar global empleando datos satelitales ya que permite el trazado de isolíneas que representen el campo de radiación solar con un mínimo de error y de manera no arbitraria.

ANTECEDENTES

A principios de los años '70 aparecen en la Argentina los primeros trabajos tendientes a establecer la distribución de la radiación solar en el país. Merecen citarse al respecto los trabajos de Crivelli y Pedregal (1972), donde aparecieron las cartas de irradiación solar global mensual y anual del país, construidas en base a correlaciones establecidas entre la heliofanía relativa y la irradiación global medidas localmente (Abeledo *et al.*, 1973; Crivelli y Abeledo, 1971), empleando como auxilio para el trazado de las mismas el Atlas Climático de la República Argentina publicado en 1960 por el Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.).

En forma paralela el procesamiento de datos existentes dio lugar a otros trabajos de evaluación del recurso solar de carácter regional o nacional (Alanis *et al.*, 1976; Fernández y García, 1977; Iriarte *et al.*, 1979; Saravia *et al.*, 1980: World Meteorological Organization, 1981a; World Meteorological Organization, 1981b).

En 1976, en el entonces Departamento de Radiación Solar y Meteorología de la ex-Comisión Nacional de Estudios Geo-Heliofísicos (CNEGH) presentaron a la Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos (O.E.A.) un proyecto destinado a establecer un relevamiento solarimétrico mediante la instalación de estaciones de medición dotadas de sensores de bajo costo, orientadas a la estimación del recurso solar con fines energéticos. La aprobación de este proyecto dio lugar a la Red Solarimétrica Argentina.

El funcionamiento de esta red (que llegó a contar con 41 estaciones de medición activas) dio lugar a un conjunto de cartas de radiación (Grossi Gallegos et al ,1985; Grossi Gallegos *et al.* 1986a; Grossi Gallegos, 1986b; Grossi Gallegos 1998) que tomaban en cuenta datos de la Red Solarimétrica, información meteorológica y cobertura de vegetación.

En aquellos lugares en los que no se contaba con la suficiente cobertura por parte de las estaciones de medición (tales como la Pampa Húmeda Argentina) se aplicaron extrapolaciones de acuerdo al análisis de su variabilidad espacial (Grossi Gallegos y Lopardo ,1988).

Los mapas de radiación elaborados no se limitaron únicamente a la República Argentina, sino que como consecuencia de convenios internacionales y trabajos conjuntos, surgieron una serie de cartas de radiación solar de varios países de América del Sur. Un ejemplo de estos convenios lo da el Programa de Cooperación establecido en 1984 entre el Instituto Nacional de Tecnología y Normalización (INTN), de Asunción del Paraguay, y la ex-Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE), de Argentina. El procesamiento de los datos de horas de insolación (heliofanía) existentes en Paraguay tenía como objetivo una primera evaluación del recurso solar y su distribución espacio-temporal en ese país.

Recientemente, partiendo de datos registrados por el satélite geostacionario GOES procesados empleando el modelo físico de Pinker (Pinker y Laszlo, 1992), se elaboraron dos cartas preliminares de radiación solar global del Paraguay, empleando datos provenientes de la aplicación del mencionado modelo a 39 celdas de 280 km de lado que cubrían una superficie algo mayor que la del país (Righini y Grossi Gallegos, 2000).

METODOLOGÍA

De la base de datos de irradiación solar global recibida a nivel del suelo en plano horizontal, proveniente de piranómetros pertenecientes a la Red Solarimétrica y de estimaciones obtenidas a partir de heliógrafos del Servicio Meteorológico Nacional, se consideraron las medias mensuales correspondientes a 16 estaciones que estuviesen en la zona correspondiente a la Pampa Húmeda y en sus inmediaciones. Las mismas son representadas en la figura 1, mientras que los datos tomados de las mismas se presentan en la tabla 1. Dichos datos fueron procesados por el programa de cálculo desarrollado por Aguiar (1999) para los Cursos Regionales de la Red Iberoamericana de Solarimetría (RISOL) del Programa CYTED. El programa calcula valores del campo de irradiación solar en diversos puntos de una red cuya densidad es definida a voluntad; el krigaje es usado para el cálculo de los valores en los nodos de la red, haciendo una interpolación basada en los datos existentes en las estaciones consideradas.

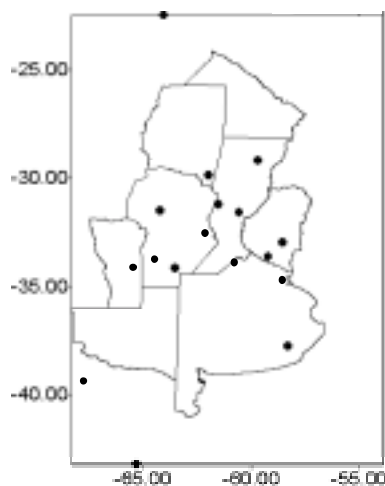


Figura 1. Localidades consideradas para el trazado de las cartas en la Pampa Húmeda.

Localidad	Lat	Long	Ene	Jul
Rafaela	-31.22	-61.5	6.8	2.7
Córdoba	-31.50	-64.17	6.3	2.6
Paraná	-31.58	-60.55	6.6	2.8
Marcos Juárez	-32.65	-62.17	6.5	2.4
Río IV	-33.08	-64.36	6.8	2.4
Villa Mercedes	-33.72	-65.84	6.4	2.6
San Miguel	-34.55	-58.44	6.6	2.2
Anguil	-22.50	-64.03	6.9	2
Balcarce	-37.75	-58.30	6.6	1.8
Alto Valle	-39.02	-67.48	7.5	1.8
Trelew	-43.24	-65.27	7.2	1.7
Ceres	-29.88	-61.96	6.5	2.7
Reconquista	-29.17	-59.67	6.4	2.9
Galeguaychú	-32.97	-58.54	6.6	2.2
Mazaruca	-33.60	-59.21	6.8	2.2
Laboulaye	-34.13	-63.50	6.7	2.3

Tabla 1. Localidades empleadas para el trazado de cartas y valores de radiación dados en kWh/m²

Los meses analizados fueron enero y julio; en las figuras 2 y 3 de la página siguiente se muestran los variogramas para cada uno de ellos y el valor de la pendiente de la recta de ajuste a los mismos. El radio de separación entre estaciones fue tomado como 969 km, y se eligieron 25 clases para el modelado de los variogramas y la aproximación de la función de estructura. Los mapas obtenidos por krigaje, correspondientes a dichos meses se presentan en las figuras 4 y 5. Las aproximaciones a esta función fueron lineales y se consideró un valor del 10% como error de medición instrumental. En todos los mapas las isolíneas están expresadas en kWh/m², estando separadas 0,5 kWh/m² ya que el método (limitado por los errores de

medición propios del instrumental de cada estación y los errores estadísticos asociados a la interpolación) impide obtener una mejor resolución.

Pueden compararse las cartas obtenidas aplicando krigaje con las obtenidas por Grossi Gallegos (1998) para toda la República Argentina (figuras 6 y 7), lo que muestra una buena concordancia entre ambas. El influjo de estaciones que se encuentran fuera del área de la Pampa Húmeda debe ser correctamente evaluado; cuando se aplica krigaje, es importante

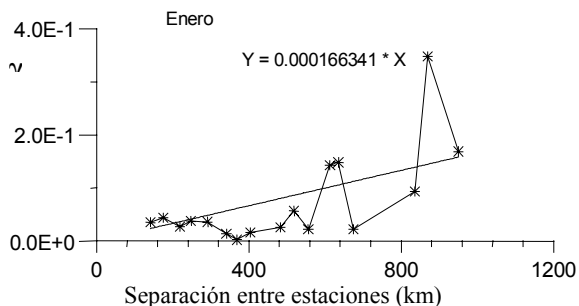


Figura 2. Variograma correspondiente al mes de enero.

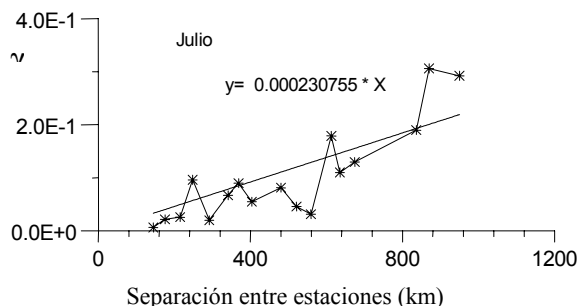
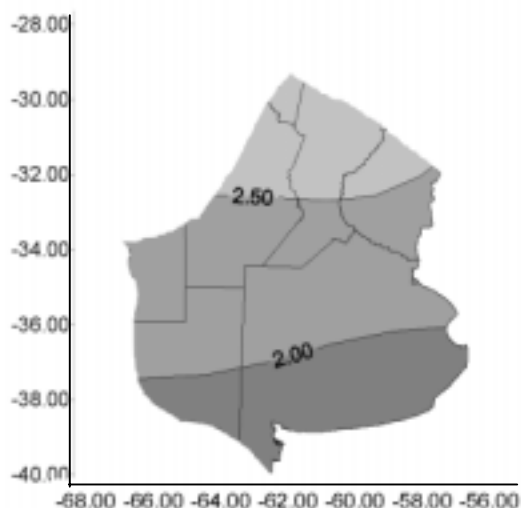
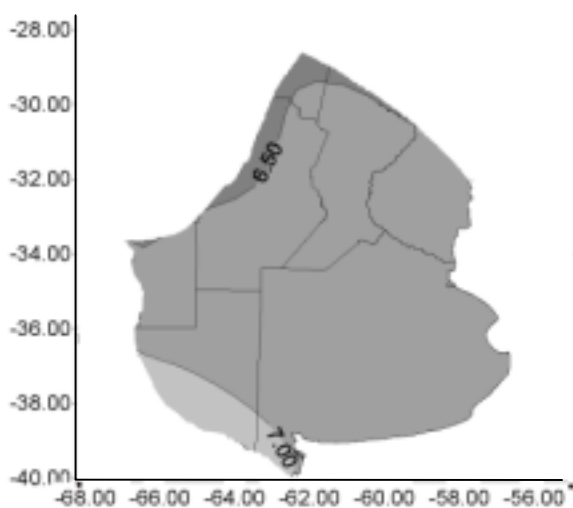


Figura 3. Variograma correspondiente al mes de julio.



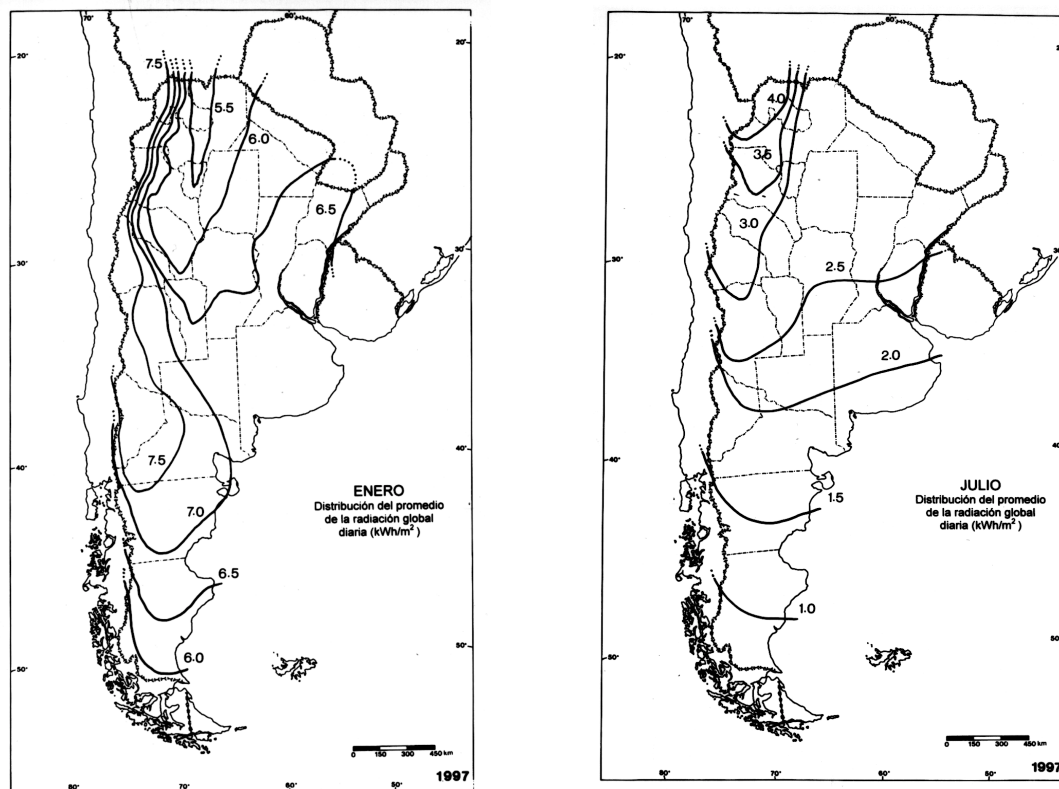
Figuras 4 y 5. Cartas de radiación de la Pampa Húmeda, correspondiente los meses de enero y julio, obtenidas por krigaje.

tener en cuenta estaciones que se encuentren alejadas de la zona de interés ya que las mismas pueden revelar una tendencia que ejerza una influencia significativa en la distribución espacial de las isocías. Esto puede verse en la carta de irradiación en la Pampa Húmeda correspondiente a enero, donde la isocía de 7 kWh/m² aparece debido a la influencia de las estaciones de Trelew y Alto Valle (consideradas dentro de las 16 estaciones usadas), así como la línea de 6,5 kWh/m² está curvada hacia el norte debido a los valores de irradiación registrados por las estaciones situadas al norte de la Pampa Húmeda.

CONCLUSIONES

Las cartas de radiación de la zona correspondiente a la Pampa Húmeda Argentina para los meses de enero y julio, realizadas usando krigaje, muestran un notable acuerdo con las realizadas por Grossi Gallegos empleando mayor información para el trazado de las isocías. El krigaje se revela como apto para ser empleado como método objetivo de extrapolación e interpolación para el trazado de isocías en zonas esencialmente planas, uniformes, sin presencia de vegetación importante.

El método es apropiado para ser usado juntamente con modelos de estimación de la irradiación solar global en tierra a partir de datos satelitales, donde en algunas zonas solamente se cuenta con la información de la radiación estimada a través del modelo y es necesario contar con algún procedimiento no arbitrario cuando se encara el trazado de isólinas para la confección de cartas de radiación.



Figuras 6 y 7. Cartas de Radiación de la República Argentina correspondientes a los meses de Enero y Julio, obtenidas por Grossi Gallegos.

REFERENCIAS

- Abeledo H., Carazo de Kurlat M. y Fernández R. (1973). Relación entre la duración relativa de la insolación y la radiación global en la Argentina. *Meteorológica* **IV** (1, 2, 3), 31-43.
- Aguiar J.F. (1999). *Cartografía de la Radiación solar por Métodos Geoestadísticos*, 39 p., Red Iberoamericana de Solarimetría (RISOL).
- Alanis E., Fabris A., Gaspar R. y Souto J. (1976). Procesamiento de datos de radiación en la Provincia de Salta. En *Actas de la 2da. Reunión de Trabajo de la ASADES*, Salta, Argentina, **2**, 383-398.
- Crivelli E. Y Abeledo H. (1971). Posibilidades de trazar cartas de radiación global en la Argentina a partir de datos de heliofanía. *Meteorológica* **II**, 86-92.
- Crivelli E. y Pedregal M. A. (1972). Cartas de radiación solar global de la República Argentina. *Meteorológica*, **III** (1, 2, 3), 80-97.
- Fernández R. y García M. (1977). Climatología de la radiación solar en Argentina. En *Actas de la 3ra. Reunión de Trabajo de la ASADES*, Mendoza, Argentina, 9-32.
- Grossi Gallegos H., Lopardo R., Atienza, G., García M. y Peralta M. (1985). Actualización de la evaluación de los datos diarios de radiación solar global obtenidos por la Red Solarimétrica. En *Actas de la 10ma. Reunión de Trabajo de la ASADES*, Neuquén, Argentina, 177-185.
- Grossi Gallegos H., Lopardo R., Atienza G., García M. y Peralta M. (1986a). Distribución de la energía solar en la región meridional de América del Sur. En *Memoria Técnica del 5º Congreso Latinoamericano de Energía Solar*, Valparaíso, Chile, tomo I, 1-11.
- Grossi Gallegos H., García M., Atienza G. y Castel M. E. de (1986b). Estimación de la distribución de la radiación solar global en la República del Paraguay. En *Actas de la 11ma. Reunión de Trabajo de la ASADES*, San Luis, Argentina, 197-202.
- 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.

- Pinker T. and Laszlo L. (1992). Modeling Surface Solar Irradiation for Satellite Applications on a Global Scale. *Journal of Applied Meteorology*, **31**, 194-211.
- Righini R. y Grossi Gallegos H. (2000). Evaluación de la distribución de la irradiación solar global en la República del Paraguay en base a datos satelitales. *Energías Renovables y Medio Ambiente (en prensa)*.
- Saravia L., Lesino G., Requena R., Cardón L., Gramajo C., Giménez E., Guerrero F., Fontanilla E., Castro Padula L. y Falú R. (1980). Estudio del bioclima y de la vivienda rural tradicional en el noroeste argentino. En *Actas de la 7ma. Reunión de Trabajo de la ASADES*, Rosario, Argentina, 146-153.
- World Meteorological Organization (1981a). En *Meteorological aspects of the utilization of solar radiation as an energy source*. Technical Note No. 172, WMO-No. 557, pp. 59-81, Geneva, Switzerland.
- World Meteorological Organization (1981b). *Meteorological aspects of the utilization of solar radiation as an energy source*. Technical Note No. 172, WMO-No. 557, Anexo, Geneva, Switzerland .

ABSTRACT – Pampa Humeda solarimetric maps are made for January and July using kriging for isolines plotting. The used information comes from 16 stations placed into the area or in its neighborhood; data were collected by pyranometers of the Solarimetric Network or estimated from heliographic records of the National Weather Service (S.M.N.). The maps obtained are compared with those made by Grossi Gallegos. The great similitude of both indicates the aptitude of kriging for plotting isolines in solar irradiation maps for homogeneous regions, as well as its great application potential as a complement of physical or statistical models for solar irradiation estimates using satellite data.

KEYWORDS: solarimetric maps, Pampa Humeda, kriging.