

Evaluación del recurso solar en Paraguay a partir de fusión de reanálisis meteorológicos y medidas en tierra

Miguel Angel Frutos Doldán

Abstract. La demanda energética se incrementa junto con el crecimiento demográfico y económico del Paraguay. A falta de nuevas inversiones, la capacidad del sistema eléctrico se verá sobrepasada en menos de 15 años. Esto ocurre en un contexto en el que el calentamiento global amenaza de forma seria el futuro de la humanidad. En consecuencia, existe una gran presión sobre los organismos internacionales para impulsar tecnologías limpias de producción de energía. En este contexto, el costo de la tecnología solar fotovoltaica ha alcanzado su mínimo histórico, posicionándose como una de las fuentes de energía renovable más atractivas. Sin embargo, la bancabilidad de proyectos solares se dificulta sin el conocimiento adecuado del recurso solar. Como en la mayoría de los países en vías de desarrollo, las medidas de radiación solar son escasas y es necesario recurrir a técnicas complementarias. Por su parte, las técnicas satelitales son las más fiables pero existen barreras de acceso a los datos y problemas de estandarización, además la manipulación de las imágenes es compleja. En consecuencia, se ha propiciado en los últimos años, interés por técnicas alternativas como la fusión de datos en superficie con datos obtenidos de reanálisis de Modelos Meteorológicos de Predicción Numérica (MMPN). El objetivo del presente trabajo es elaborar un mapa del recurso solar de Paraguay a partir de la fusión de datos medidos en estaciones en tierra con estimaciones de la radiación global obtenidas de los reanálisis MERRA. En concreto, en la primera parte de este trabajo, se lleva a cabo una evaluación de los errores derivados del MERRA en los puntos correspondientes a las estaciones de medida. En una segunda parte, se interpolan los errores anteriores en la región de interés mediante la técnica de kriging ordinario y se corrigen las estimaciones del modelo en toda la región para derivar el mapa del recurso solar. Los resultados muestran una sobrestimación promedio del recurso en torno al 20%. Una mejora adicional en la resolución del mapa se obtiene aplicando nuevamente kriging a los valores corregidos. Finalmente, se ha procedido al cálculo de otro parámetro útil para el incentivo de la energía solar en Paraguay, el Año Solar Representativo (ASR). Éste se ha calculado en base a 16 años de medidas en la ciudad de Asunción. Como conclusión, las principales limitaciones, aportes y futuras líneas de investigación se enumeran al final del trabajo.

Keywords: recurso solar, radiación solar, modelo meteorológico, kriging, año solar representativo, bancabilidad.

INTRODUCCION

Los reanálisis de modelos meteorológicos de predicción numérica (MMPN) presentan algunas ventajas sobre el estándar satelital para la evaluación del recurso solar puesto que ofrecen una representación coherente, tanto espacial como temporal, del estado de la atmósfera a escala global y a lo largo de las últimas décadas (hasta 40 años atrás en algunos casos).

Sin embargo, la fiabilidad de estas estimaciones es mucho menor que las de las medidas realizadas en estaciones meteorológicas y la resolución espacial dista de ser la óptima aún. Las estimaciones suelen presentar importantes desviaciones sistemáticas asociadas a efectos de sitio que no vienen bien recogidos por la resolución espacial, como por ejemplo, la elevación del terreno o efectos de la interfase tierra-mar.

En trabajos recientes, la fiabilidad de las estimaciones de estos modelos, para el caso de la GHI, se ha cifrado en aproximadamente un 20% de error cuadrático relativo (Ruiz-Arias, Quesada-Ruiz, Fernández, & Gueymard, 2015).

El trabajo una la potencialidad que ofrecen las técnicas de interpolación espacial y los reanálisis de MMPN para la obtención del mapa del recurso solar del Paraguay, interpolando medidas de radiación recogidas en 14 estaciones en tierra, utilizando técnicas de kriging, para corregir las estimaciones de la GHI obtenidas de los reanálisis del MERRA (Modern-Era Retrospectiva Analysis for Research and Applications).

REGION DE ESTUDIO

El Paraguay se extiende entre las latitudes 18°S y 28°S, y longitudes 54°W y 63W en el corazón de Sudamérica, limitando con Brasil, Argentina y Bolivia. Topográficamente es un territorio bastante llano, especialmente en la región occidental al río Paraguay denominada Chaco. En la región oriental presenta colinas que no sobrepasan los 700 m (Figura 1).

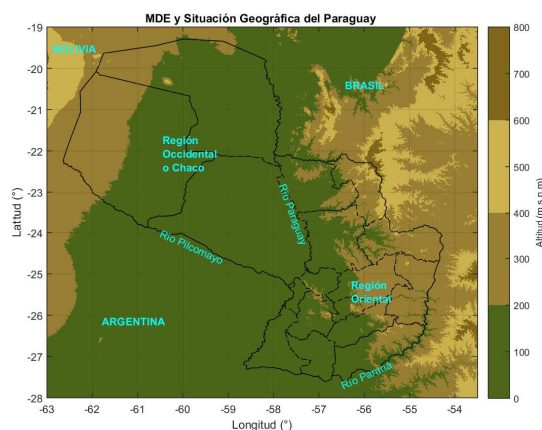


Figura 1. Mapa de Elevaciones y situación geográfica del Paraguay. **Fuente:** elaboración propia

En cuanto a la climatología del Paraguay (Glatzle, A., & Stosiek, D. (2006)), la temperatura media varía entre 25,9°C y 21,4°C. Los veranos van de calurosos a muy calurosos y la evapotranspiración potencial alcanza valores de hasta 2.100mm. Las temperaturas máximas varían entre 40,8°C y 44,0°C. En invierno ocurren heladas nocturnas con mínimas históricas de -6,0°C. Los cambios bruscos de temperatura son comunes con la entrada de tormentas, puesto que los vientos cambian de norte a sur fácilmente a falta de barreras montañosas. La velocidad del viento es superior a 6 m/s para el 14% del año.

En resumen, Paraguay tiene un clima continental subtropical dominado por las lluvias de verano, inscribiéndose en clima tipo C de la clasificación de Köppen (Edición de 1969).

En cuanto a su escenario energético, datos recientes indican que la capacidad instalada se saturaría en 14 años, por lo que se estudian varias opciones energéticas de entre las cuales la energía solar fotovoltaica (SFV) surge como principal alternativa. Esto debido a la histórica reducción mundial de los precios (Feldman et al., 2014) y la gran eficiencia de los sistemas (IEA, 2014).

METODOLOGIA

Con la metodología propuesta se corregirán las estimaciones de GHI obtenidas con un reanálisis atmosférico (sección 3.1), en base a datos de GHI medidos en tierra (sección 3.2).

En primer lugar, se determina el error sistemático del reanálisis atmosférico a escala mensual en cada una de las localizaciones de observación y se parametriza mediante un modelo lineal que se ajusta por mínimos cuadrados (sección 3.3).

Una vez conocidos los coeficientes de corrección lineal en cada localización, éstos se interpolan espacialmente sobre la rejilla original del reanálisis mediante kriging (sección 3.4), de modo que el error sistemático del reanálisis atmosférico puede ser evaluado y detraído en todas y cada una de las celdas de la rejilla.

Por último, se emplea de nuevo el método de interpolación mediante kriging, esta vez sobre la rejilla de valores corregidos del reanálisis atmosférico, para llevar a cabo un incremento de la resolución espacial hasta un tamaño de celda de 0.1 x 0.1 grados.

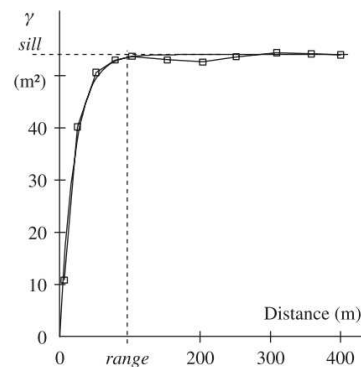


Figura 2. Kriging: esquema de ajuste de un semivariograma paramétrico a los valores del semivariograma empírico. **Fuente:** Chilés & Delfiner, 2012

Finalmente, se determina el año solar representativo (ASR) en base a una fusión de la metodología del laboratorio SANDIA y la NORMA UNE 206011:2014, para la ciudad de Asunción, con datos en tierra (1997-2002), y se calculan las mismas variables del recurso solar.

RESULTADOS

La distribución espacial de las desviaciones de MERRA se muestra en la Figura 3. El error medio porcentual es del orden del 20%, siendo el máximo de 33.35% y el mínimo de 8.79%.

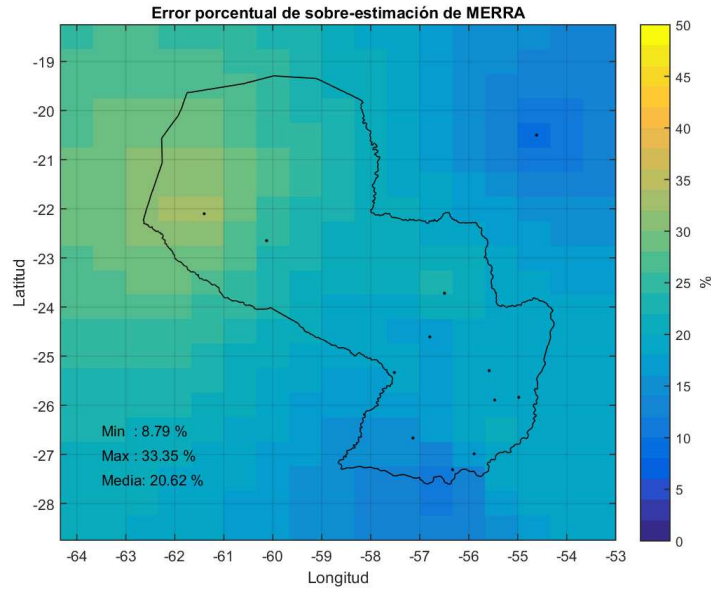


Figura 3. Distribución espacial del error medio porcentual de MERRA. **Fuente:** elaboración propia
El mapa del recurso solar generado en este trabajo se muestra en la Figura 4.

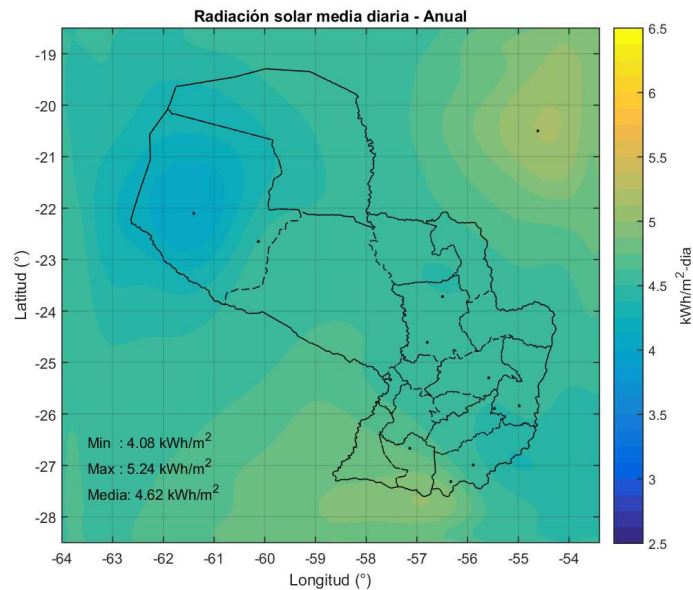


Figura 4. Mapa del recurso solar en Paraguay. **Fuente:** elaboración propia

Un resumen del recurso solar en Asunción, la capital del Paraguay, evaluado en base a los resultados del ASR, se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Recurso solar en Asunción en base al ASR

Variable	Valor	Unidades
Radiación global horizontal	1690	kWh/m ² -año
Radiación global horizontal	4,633	kWh/m ² -día

CONCLUSIONES

La evaluación del recurso solar en superficie es fundamental para diversas aplicaciones y campos de la ciencia. Los MMPN presentan numerosas ventajas a la hora de estimar el recurso solar, sin embargo, muestran desviaciones con respecto a las medidas en superficie.

Pese a la limitación de cantidad de estaciones, se ha logrado una fusión aceptable con los datos de reanálisis. El ajuste del semivariograma paramétrico del coeficiente d (bias) ha sido más dificultoso que el del coeficiente c (drift). Esta limitación induce ruido en los resultados pudiendo ocultar la verdadera distribución del recurso solar.

Se constata la tendencia de MERRA de sobreestimar el recurso solar. La distribución espacial del recurso se asemeja a la publicada por otras fuentes. Los valores mensuales y la variación mensual se ajustan a los propuestos por el VMME en base a datos de satélite.

Se recomienda contrastar los resultados de este trabajo con el de otro MMNP como WRF a fin de reducir la incertidumbre asociada a las particularidades de MERRA.

El ASR para Asunción fue determinado en base a 16 años de datos de buena calidad y constituye un instrumento valioso para la financiación de proyectos solares.

Como futuras líneas de investigación se propone: a. estudiar el error interanual de MERRA b. buscar una variable explicativa a fin de evaluar la incertidumbre determinista a través de la técnica de kriging residual.

REFERENCIAS

1. AENOR. (2014). NORMA UNE 206011:2014: Procedimiento de generación de un año solar representativo.
2. Alsamamra, H., Ruiz-Arias, J. A., Pozo-Vázquez, D., & Tovar-Pescador, J. (2009). A comparative study of ordinary and residual kriging techniques for mapping global solar radiation over southern Spain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(8), 1343–1357.
3. Chilés, J.-P., & Delfiner, P. (2012). *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty*. (D. J. Balding, N. A. C. Cressie, & G. M. Fitzmaurice, Eds.) (Segunda.). New Jersey: John Wiley & Sons.
4. Feldman, D., Barbose, G., James, T., Weaver, S., Fu, R., & Davidson, C. (2014). *Photovoltaic System Pricing Trends 2014 Edition*.
5. Glatzle, A., & Stosiek, D. (2006). *Country Pasture and Forage Resource Profiles of Paraguay*.
6. IEA. (2015). *Energy Technology Perspectives 2015 Mobilising Innovation to Accelerate Climate Action Resumen Ejecutivo*.
7. IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*.
8. IRENA. (2014). *Renewable Power Generation Costs in 2014*.
9. Ruiz-Arias, J. a., Quesada-Ruiz, S., Fernández, E. F., & Gueymard, C. a. (2015). Optimal combination of gridded and ground-observed solar radiation data for regional solar resource assessment. *Solar Energy*, 112, 411–424.
10. Wilcox, S., & Marion, W. (2008). *Users Manual for TMY3 Data Sets, Technical Report NREL/TP-581-43156, (May), 58*.