

# DESEMPEÑO DEL MODELO REST2 CON DISTINTAS FUENTES DE AEROSOLES EN LA ESTIMACIÓN DE LA IRRADIANCIA GLOBAL HORIZONTAL

Anabela Lusi<sup>1,2</sup>, Facundo Orte<sup>1,2</sup>, Agustín Laguarda<sup>3</sup>, Rodrigo Alonso-Suárez<sup>4</sup>, Juan Pallotta<sup>1</sup>, Raúl D'Elia<sup>2</sup>, Elian Wolfram<sup>5</sup>  
[anabelalusi@gmail.com](mailto:anabelalusi@gmail.com)

<sup>1</sup>Departamento de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones (DEILAP), UNIDEF (CITEDEF-CONICET), IRL-IFAECI-CNRS-3351, Villa Martelli (B1603), Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Godoy Cruz 2290 (C1425FQB) CABA, Argentina

<sup>3</sup>Laboratorio de Energía Solar, Facultad de Ingeniería, Udelar, Montevideo, Uruguay

<sup>4</sup>Laboratorio de Energía Solar, CENUR Litoral Norte, Udelar, Salto, Uruguay

<sup>5</sup>Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en productos y servicios, (C1425GBE), CABA, Argentina

**Palabras clave:** REST2, AOD, Irradiancia solar

## 1) INTRODUCCIÓN

Los modelos de cielo claro permiten estimar la irradiancia solar que alcanza la superficie terrestre en ausencia de nubosidad, siendo fundamentales para aplicaciones como el diseño de sistemas solares, el control de calidad en series de medida y la generación de productos satelitales de irradiancia. Entre estos modelos, REST2 (“Reference Evaluation of Solar Transmittance”, dos bandas) (Gueymard 2008) se destaca por su precisión al considerar múltiples variables atmosféricas, incluyendo ozono, vapor de agua y aerosoles. REST2 está basado en una parametrización del modelo de transferencia radiativa SMARTS2.

La profundidad óptica de aerosoles (AOD) es uno de los parámetros más relevantes, ya que permite caracterizar la cantidad y el tipo de partículas presentes en la atmósfera. Parámetros de entrada de alta calidad, como los de la red de fotómetros solares AERONET (Holben et al. 1998), mejora significativamente el desempeño del modelo REST2, pero su disponibilidad es limitada a ciertas ubicaciones. Por esta razón, resulta de interés evaluar el impacto en el desempeño del modelo REST2 al utilizar distintas fuentes de información de aerosoles.

El objetivo de este trabajo es comparar el desempeño del modelo REST2 utilizando datos de AERONET y datos de reanálisis de MERRA-2 (Gelaro et al. 2017). La evaluación se realiza a escala temporal de un minuto para la Irradiancia Global Horizontal (GHI) en condiciones de cielo claro, comparando con mediciones terrestres durante los años 2019 y 2020 en Villa Martelli, Buenos Aires, y Pilar, Córdoba.

## 2) METODOLOGÍA

La información de GHI utilizada para validar el modelo se obtuvo con una frecuencia minutal durante los años 2019 y 2020 en Villa Martelli, Buenos Aires (VMA) (34,58°S, 58,48°O, 25 m s.n.m.) y Pilar, Córdoba (PIL) (31,68°S, 63,87°O, 330 m s.n.m.). Los datos se registraron con piranómetros Kipp&Zonen CMP-21 en el rango de onda corta en un plano horizontal con un tiempo de adquisición de un minuto. La detección de los minutos claros se realizó siguiendo la metodología propuesta por Reno y Hansen (Reno and Hansen 2016), con ventanas móviles de 30 minutos.

Las variables de entrada del modelo REST2 se obtuvieron de la base de datos de OMI/Aura (columna total de ozono,  $u_o$ ) (Levelt et al. 2006), de la base de datos de la National Solar

Radiation Data Base (NSRDB) (albedo de dispersión terrestre para la banda 1 y 2;  $\rho_1, \rho_2$ ) (Sengupta et al. 2018), de la base de datos de reanálisis MERRA-2 ( $\beta, \alpha_1, \alpha_2$ ), de la red de fotómetros solares AERONET (<https://aeronet.gsfc.nasa.gov>) en el nivel 2.0 (parámetros de turbidez,  $\beta$ ; exponentes de Ångström,  $\alpha_1, \alpha_2$ ), de mediciones de parámetros meteorológicos en el sitio (presión,  $p$ ) y, además, otros parámetros se estimaron o se utilizaron valores por defecto (ángulo cenital solar,  $\theta_z$ ; contenido de dióxido de nitrógeno,  $u_n$ ;  $p$ ).

El coeficiente de turbidez de Angström se calculó utilizando la ecuación de Angström:  $\beta = \text{AOD} \cdot \lambda^{-\alpha}$  (Ångström 1929). Los datos de MERRA-2 se obtuvieron a nivel horario con una resolución espacial de  $0,5 \times 0,625^\circ$  y se interpolaron linealmente para obtener estimaciones minutales comparables con AERONET. Para MERRA-2, se utilizó el AOD a 500 nm para el cálculo de  $\beta$ , y los exponentes de Angström entre 470 y 870 nm, asumiendo  $\alpha_1 = \alpha_2$ . En el caso de AERONET, se utilizó el AOD a 870 nm para calcular  $\beta$ , y los exponentes de Angström se obtuvieron para longitudes de onda entre 440 y 675 nm ( $\alpha_1$ ), y 500 y 870 nm ( $\alpha_2$ ).

Para evaluar el desempeño, se utilizaron métricas clásicas como el sesgo relativo (rMBD), el error cuadrático medio relativo (rRMSD) y la desviación absoluta relativa (rMAD).

### 3) RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presentan los resultados de las dispersiones entre las estimaciones del modelo REST2 ( $\text{W/m}^2$ ) y las muestras de cielo claro detectadas en las mediciones del sitio.

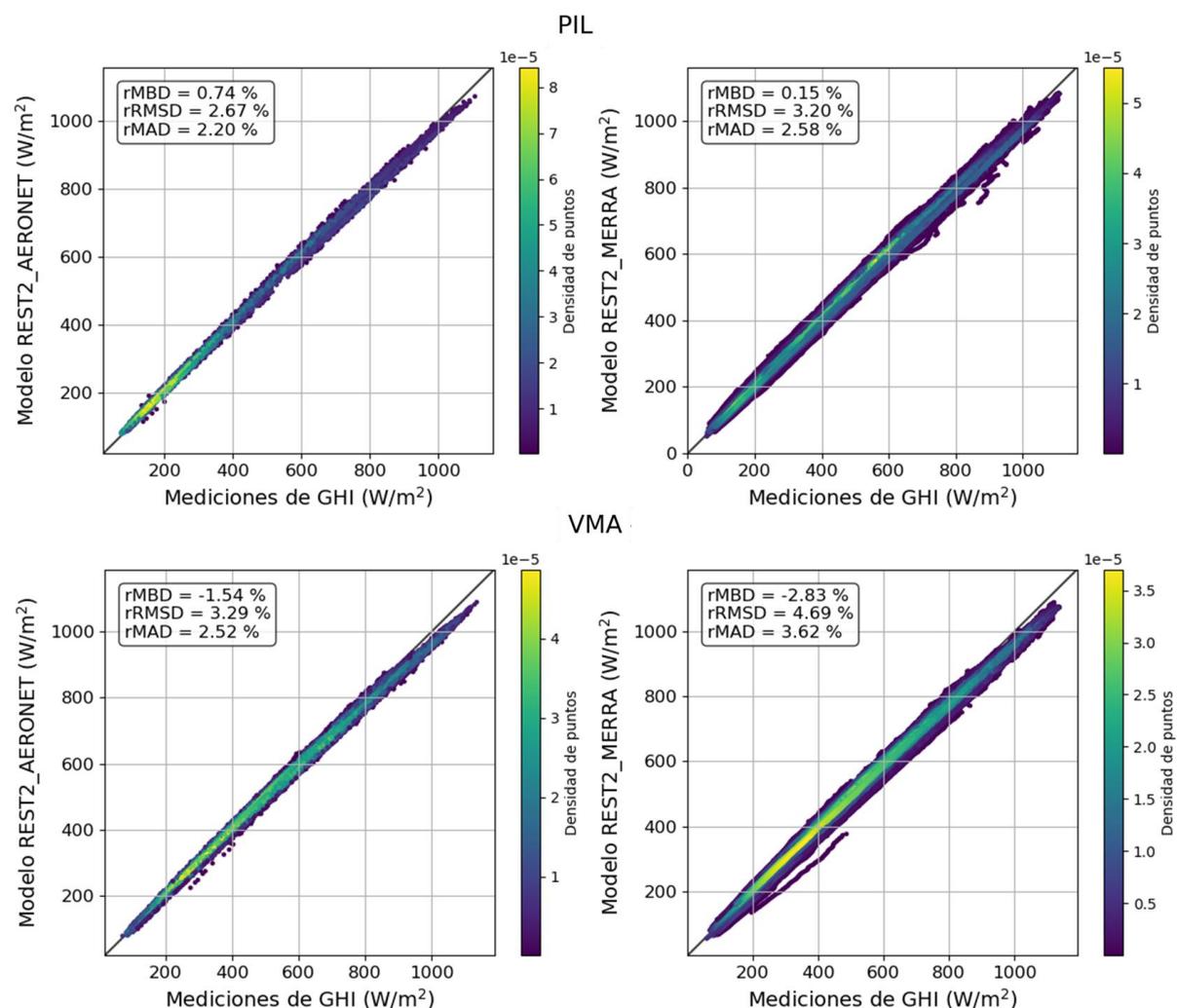


Figura 1: Desempeño del modelo REST2 en los sitios de PIL (arriba) y VMA (abajo) para distintas fuentes de información atmosférica; AERONET (izquierda) y MERRA (derecha)

En PIL, se obtuvieron los mejores indicadores de desempeño utilizando datos de AERONET, con un rMBD de 0,74%, rRMSD de 2,67% y rMAD de 2,20%. Con datos de MERRA, los resultados fueron de 0,15%, 3,20% y 2,58% para el rMBD, rRMSD y rMAD, respectivamente. En VMA, los mejores indicadores también se obtuvieron con datos de AERONET, con un rMBD de -1,54%, rRMSD de 3,29% y rMAD de 2,52%. Al utilizar datos de MERRA, los valores fueron de -2,83%, 4,69% y 3,62% para el rMBD, rRMSD y rMAD, respectivamente. A partir de los resultados obtenidos, se observa que el desempeño del modelo REST2 fue superior al alimentar el modelo utilizando mediciones de aerosoles de AERONET respecto de datos de reanálisis de MERRA-2, aunque en ambos casos el modelo presenta un buen desempeño. Este comportamiento es consistente con lo esperado, dado que AERONET es una red de medición de alta precisión, mientras que MERRA-2 es un producto de reanálisis global con menor resolución espacial y temporal. Por otro lado, el uso de MERRA-2 permite obtener estimaciones de irradiancia con métricas dentro de los rangos reportados en estudios previos para la región (Russo et al. 2022). Esto es particularmente relevante en sitios donde no se dispone de información local de la atmósfera, destacando a MERRA-2 como una alternativa viable para aplicaciones que requieren información de aerosoles de forma continua en el tiempo.

## REFERENCIAS

- Ångström, A., 1929:** On the Atmospheric Transmission of Sun Radiation and on Dust in the Air. *Geogr. Ann.*, **11**, 156–166, <https://doi.org/10.1080/20014422.1929.11880498>.
- Gelaro, R., y Coauthors, 2017:** The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2), <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0758.1>.
- Holben, B. N., y Coauthors, 1998:** AERONET—A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization. *Remote Sens. Environ.*, **66**, 1–16, [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00031-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00031-5).
- Reno, M. J., y C. W. Hansen, 2016:** Identification of periods of clear sky irradiance in time series of GHI measurements. *Renew. Energy*, **90**, 520–531, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.12.031>.
- Russo, P., A. Laguarda, G. Abal, e I. Piccioli, 2022:** Performance of the REST2 model for 1-minute clear-sky solar irradiance with MERRA-2 atmospheric inputs. *Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar 2022*, <https://doi.org/10.59627/cbens.2022.1100>.
- Gueymard, C., 2008:** REST2: High-performance solar radiation model for cloudless-sky irradiance, illuminance, and photosynthetically active radiation – Validation with a benchmark dataset. *Sol. Energy*, **82**, 272–285, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2007.04.008>.
- Levelt, P. F., van den Oord, G. H. J., Dobber, M. R., Malkki, A., Visser, H., Vries, J. de, Stammes, P., Lundell, J. O. V., y Saari, H., 2006:** The ozone monitoring instrument. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, **44**, 1093–1101, <https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.872333>.
- Sengupta, M., Y. Xie, A. Lopez, A. Habte, G. Maclaurin, y J. Shelby, 2018:** The National Solar Radiation Data Base (NSRDB). *Renew. Sustain. Energy Rev.*, **89**, 51–60, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.003>.