

IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL EN UNA SUPERFICIE INCLINADA Y ORIENTADA: COMPARACIÓN DE MODELOS EN LUJÁN

María J. DENEGRI^{1,2}, Raúl RIGHINI² y Carlos RAICHIJK²
mariajose_denegri@yahoo.com

¹Departamento de Tecnología (UNLu)

²Grupo de Estudios de la Radiación Solar (INEDES, UNLu-CONICET)

RESUMEN

Para diversas aplicaciones energéticas del recurso solar, es necesario conocer la irradiación solar incidente sobre una superficie inclinada y orientada. Usualmente, no se dispone de mediciones para la superficie de interés, motivo por el cual generalmente los valores deben ser estimados a partir de la irradiación solar global y difusa medidas en plano horizontal. Por ello, el objetivo de este trabajo es comparar el comportamiento de doce modelos utilizados para estimar la irradiación solar global incidente en plano inclinado.

ABSTRACT

For various energy applications of solar resource, it is necessary to know the incident solar irradiation on a tilted and oriented surface. Usually, measurements are not available for the area of interest, thus the values should generally be estimated from global and diffuse solar irradiation measured in the horizontal plane. Thus, the aim of this study is to compare the behavior of 12 models used to estimate the global solar radiation incident on a tilted plane.

Palabras clave: radiación solar, modelos de descomposición, variación acimutal del plano.

1) INTRODUCCIÓN

Conociendo la posición del sol y la orientación de la superficie, el cálculo de la irradiación solar directa sobre una superficie inclinada es bastante sencillo. Para la estimación de la componente difusa se han desarrollado varios modelos. Los modelos de transposición que se encuentran disponibles en la bibliografía para pasar de un plano a otro tienen diferente grado de complejidad de acuerdo a que consideren o no la anisotropía de la irradiación difusa y la posibilidad de variar la orientación acimutal. Muchos trabajos se han realizado (Kambezidis y otros, 1994; Diez-Mediavilla et al., 2005; Kamali y otros, 2006; Notton et al., 2006; Evseev y Kudish, 2009) para comparar el comportamiento de los modelos de transposición bajo diferentes condiciones. En la mayoría de ellos se concluye que la capacidad de estos modelos para predecir la irradiación solar global en plano inclinado depende de la época del año y de las condiciones climáticas propias de cada lugar.

Atendiendo a la posibilidad de aprovechar el recurso solar en el área de influencia de la UNLu y teniendo en cuenta la complejidad de la modelización de la radiación en plano inclinado y la dependencia de los modelos con las condiciones atmosféricas de cada lugar, surge así la necesidad de determinar cuál es el modelo que mejor predice la irradiación solar global en plano inclinado en Luján.

2) MATERIALES Y MÉTODOS

Mediciones: se utilizaron integrales horarias de irradiación solar global en plano horizontal, obtenidas con un piranómetro CMP11 de Kipp & Zonen cuyo error de medición es del 3%, conectado a datalogger Campbell CR1000. Las mediciones en plano inclinado se realizaron con 5 sensores fotovoltaicos fabricados en el Departamento de Energía Solar de la CNEA cuyos errores de medición son del 5%, conectados a 3 adquirentes de datos marca Novus. Se midió en superficies inclinadas 45°, orientadas al E, NE, N, NO y O. Las mediciones se realizaron en la Estación Solarimétrica de la UNLu (34° 35' S, 59° 03' W) durante el año 2016. Se descartaron los datos de las horas en que la altura solar era inferior a 5° para evitar los errores asociados a obstrucciones en el horizonte.

Modelos: se evaluaron 4 modelos isotrópicos (Liu y Jordan, 1961; Koronakis, 1986; Tian et al., 2001 y Badescu, 2002) y 8 anisotrópicos (Temps y Coulson, 1977; Klucher, 1979; Hay, 1979; Willmot, 1982; Ma e Iqbal, 1983; Skartveit y Olseht, 1986; Perez, 1990; Reindl et al., 1990).

Validación de los resultados: los estadísticos considerados para clasificar la habilidad predictiva de los modelos fueron RMSE%, MBE%, R^2 y pendiente (obtenidos de la regresión lineal), asimetría y curtosis de los residuos, índice de concordancia d, estadístico t y puntaje de precisión AS.

3) RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los resultados presentados en la tabla 1, en orden creciente respecto al orden promedio obtenido en el ranking de modelos, muestran, en principio, que no existen diferencias significativas respecto al error entre los primeros cinco modelos, salvo en la dirección NE, donde Koronakis y Liu Jordan tienen un mejor desempeño. Dicha conclusión, basada en comparación entre esos cinco ha sido realizada considerando que las diferencias entre ellos son menores que el error instrumental, por lo cual puede considerárselos como equivalentes en lo que hace a la predicción de la radiación en planos inclinados con diferentes orientaciones respecto al norte. Por tal motivo, podría considerarse para su uso aquel que presenta menores dificultades de cálculo, tal como el de Liu y Jordan, que a pesar de lo básico de los presupuestos que usa muestra un buen nivel de acuerdo entre datos estimados y medidos.

Modelo	Este			Noreste			Norte			Noroeste			Oeste			orden promedio
	RMSE%	MBE%	orden	RMSE%	MBE%	orden	RMSE%	MBE%	orden	RMSE%	MBE%	orden	RMSE%	MBE%	orden	
Koronakis	32,4	-13,2	4	20,3	2,6	4	12,9	0,2	6	24,2	-10,7	1	32,9	19,8	6	4,2
Skarveith y Olseth	33,7	-22,0	7	21,5	-5,9	7	11,5	1,1	2	34,9	-18,3	9	31,3	3,1	1	5,2
Liu y Jordan	33,1	-15,3	10	20,1	0,8	3	13,2	-1,6	8	25,1	-12,4	3	31,5	17,4	3	5,4
Klucher	33,6	-15,2	8	20,0	0,1	1	11,5	1,1	3	31,0	-12,3	5	36,5	26,7	10	5,4
Badescu	33,1	-16,4	9	20,6	0,0	5	14,3	-2,1	9	25,3	-13,3	4	32,1	16,2	4	6,2
Temps y Coulson	32,8	-13,7	5	20,1	-0,4	2	12,0	3,2	7	31,2	-12,8	6	38,4	30,1	11	6,2
Hay	33,6	-21,4	6	24,7	-10,1	11	11,4	1,6	4	37,9	-22,3	10	31,3	3,8	2	6,6
Tian	31,5	-8,9	2	20,5	-3,0	6	13,5	4,0	11	27,3	-16,2	7	36,5	24,8	9	7,0
Reindl	34,2	-22,2	11	21,2	-6,2	9	11,5	1,0	1	34,7	-18,2	8	35,9	24,9	8	7,4
Willmot	35,2	-4,5	3	23,3	10,6	8	13,6	4,2	12	28,8	-1,7	2	45,0	38,5	12	7,4
Ma e Iqbal	28,2	-16,8	1	22,6	-6,0	10	14,3	10,4	10	42,6	-24,3	12	50,7	-2,5	7	8,0
Perez	37,9	-24,5	12	26,0	-11,6	12	11,9	-1,4	5	40,6	-24,2	11	31,7	19,8	5	9,0

Tabla 1. Resultados comparando los estimadores estadísticos utilizado para cada uno de los modelos analizados.

La habilidad predictiva de los modelos funciona bien para la orientación N, y decae hacia mayores ángulos acimutales (E y O). Es notable también que los mayores errores se encuentren en todos los modelos cuando se los aplica a orientaciones en la dirección O. La simetría de la radiación solar respecto a la dirección N-S, permitiría esperar un desempeño comparable de los modelos cuando se aplican a la orientación E. Que esto no ocurra puede deberse a asimetrías propias que presenta el horizonte en el sitio de medición, debida a las diferentes coberturas vegetales presentes.

REFERENCIAS

- Diez-Mediavilla, M., de Miguel A. y Bilbao J., 2005:** Measurement and comparison of diffuse solar irradiance models on inclined surfaces in Valladolid (Spain). *Energy Conversion and Management* 46, 2075-2092.
- Evseev, E.G. y Kudish A.I., 2009:** The assessment of different models to predict the global solar radiation on a surface tilted to the south. *Solar Energy* 83, 377-388.
- Kamali, G.A., Moradi I. y Khalili A., 2006:** Estimating solar radiation on tilted surfaces with various orientations: a study case in Karaj (Iran). *Theoretical and Applied Climatology* 84, 235-241.
- Kambezidis, H.D., Psiloglou B.E. y Gueymard C., 1994:** Measurements and models for total solar irradiance on inclined surface in Athens, Greece. *Solar Energy* 53, 2, 177-185.
- Notton, G., Cristofari C. y Poggi P., 2006:** Performance evaluation of various hourly slope irradiation models using Mediterranean experimental data of Ajaccio. *Energy Conversion and Management* 47, 147-173.