

MODELO DE RADIACIÓN SOLAR GLOBAL HELIOSAT-4 EN URUGUAY: VALIDACIÓN PRELIMINAR

A. Laguarda, G. Giacosa, G. Abal, R. Alonso-Suárez

Durante la última década en Uruguay se han mantenido esfuerzos sistemáticos para caracterizar el recurso solar. Esta línea de trabajo incluye la implementación local de modelos para estimar la irradiación solar por satélite y la evaluación de su incertidumbre en la región (Alonso-Suárez et al.,2012,2014; Laguarda et al.,2018). La plataforma SoDA (<http://www.soda-pro.com>) provee en forma gratuita para parte del globo y en particular la zona noreste de Sudamérica, incluyendo el territorio uruguayo, estimativos de irradiación solar utilizando el método Heliosat-4 con imágenes del satélite MSG. En este trabajo presentamos una primer evaluación y utilización en Uruguay de la información de irradiación solar global en plano horizontal (GHI) provista por esta plataforma. Se utilizan las medidas de GHI registradas en tierra por una estación Kipp & Zonen Solys2 que utiliza piranómetros Estándar Secundario con unidades de ventilación, mantenimiento diario y calibración bianual como recomienda la WMO.

El trabajo consta de dos partes, ambas realizadas para irradiación horaria (expresada en Wh/m²). En la primera parte se valida en forma preliminar la información de cielo despejado del método Heliosat-4, modelo McClear (Lefèvre et al., 2013) contra medidas en tierra. Este desempeño se compara además contra el del modelo ESRA (Rigollier,2000) utilizando como insumo un ciclo anual (diario) de turbidez de Linke estimado localmente para el sitio específico. El análisis para cielo despejado requiere identificar con precisión las medidas horarias en tierra correspondientes a esta condición de cielo. Para ello utilizamos un algoritmo basado en la propuesta de Remund et al.(2003), que clasifica horas en base a los siguientes cuatro criterios: i)el índice de claridad modificado, kT_m , propuesto por Perez et al.,(1990) debe ser mayor a 0.70, ii)la irradiación directa debe ser mayor a 200 Wh/m², iii)al menos el 40% de las horas diurnas deben cumplir los filtros (i) y (ii) para que el día sea considerado claro, y iv)la serie horaria de kT_m para cada día debe tener un desvío estándar menor a 0.02 para que el día sea considerado claro. Este último criterio es el más exigente, pero reduce la posibilidad de seleccionar falsos positivos. No se consideran horas que tengan una altura solar menor a 7°. Utilizando este procedimiento se obtienen 2629 horas de cielo despejado válidas de un conjunto inicial de 11004 muestras diurnas válidas. Para el modelo McClear se obtuvo un desvío promedio relativo (rMBD) de +1.1% y un desvío cuadrático medio relativo (rRMSD) de 2.8%, mientras que para el modelo ESRA se obtuvo un rMBD de -1.3% y un rRMSD de 3.6%. Estos indicadores son expresados relativos a la media de los datos horarios de cielo despejado (en este caso, 618 Wh/m²). La evaluación indica que el modelo McClear provee excelentes estimativos en condiciones de cielo despejado. Sin embargo su desempeño varía en condiciones de nubosidad, lo que puede afectar por ejemplo el cálculo del índice de cielo claro, $k_c = GHI/GHI_{csk}$ para otros estudios. Para cuantificar este efecto, se realizó una comparación entre los estimativos de cielo despejado del modelo ESRA y el modelo McClear para las horas claras seleccionadas, y en segunda instancia para su complemento. Si se comparan estos modelos en condiciones de cielo despejado, se observa un rMBD de -2.3% y un rRMSD de 3.6% entre ellos (relativos a la media del modelo McClear, de 625 Wh/m²). El signo negativo en el desvío implica que el modelo ESRA subestima en promedio con respecto al McClear. Si se realiza la comparación entre los modelos para las horas no claras se observan diferentes resultados; un rMBD de +5.0% y

un rRMSD de 8.7% entre ellos, con respecto a la media de 539 Wh/m² en estas condiciones. El modelo ESRA utilizado aquí representa una condición de cielo claro promedio y no refleja la variación de la turbidez para cada día específico. Esta diferencia de comportamiento inter-modelos, por ejemplo, de +7.3% en desvío promedio, brinda evidencia de que el modelo McClear tiende a subestimar la irradiación de cielo claro en condiciones de nubosidad.

En la segunda parte de este trabajo se valida para este sitio de medida el modelo Heliosat-4 para toda condición de cielo. Esta evaluación reportó un rMBD de -1.9% y un rRMSD de 19.0% con respecto a la media de las medidas horarias de 449 Wh/m². El modelo presenta un desvío promedio bajo y una incertidumbre del orden de la esperable para un modelo satelital sin ajuste local. Por otro lado, utilizando la información del modelo McClear (cielo despejado) hemos ajustado un modelo híbrido para toda condición de cielo al sitio específico, de la forma: $GHI = I_{cc}(a + b(1-C))$, donde I_{cc} es la irradiación de cielo claro y C es un índice de nubosidad estimado a partir de imágenes del canal visible del satélite GOES-13. Los parámetros adimensionados a y b son ajustables a medidas en tierra. Esta propuesta de modelo híbrido ya ha sido implementada y evaluada en la región utilizando el modelo ESRA (Laguarda et al.,2018) con buenos resultados. Los resultados del modelo híbrido utilizando ambos modelos de cielo despejado son similares, obteniéndose un desempeño de +0.9% de rMBD y 11.6% de rRMSD al utilizar el modelo ESRA y de -1.3% de rMBD y 11.1% de rRMSD al utilizar el modelo McClear. Ambas alternativas presentan menor incertidumbre que el modelo físico Heliosat-4, debido a su ajuste local.

En esta comparación preliminar hemos observado que los estimativos de cielo claro del modelo McClear son muy precisos en condiciones de cielo claro y tienden a la subestimación en condiciones de cielo nublado. El modelo puramente físico Heliosat-4 para toda condición de cielo muestra un desvío promedio pequeño de -1.9% y una incertidumbre del 19% en la región, adecuado para un modelo sin ajuste local. Los modelos híbridos desarrollados, con ajuste local, presentan una menor incertidumbre en sus estimativos, siendo ambos de rendimiento comparable. La continuación a futuro de este trabajo es la validación del modelo Heliosat-4 estratificando el rendimiento del modelo según diferentes variables, como la altura solar, nubosidad, etc, en varios sitios de la región donde existen medidas en tierra de calidad controlada.