

ANÁLISIS DE DIFERENTES METODOS EMPIRICOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA RADIACION SOLAR SOLAR MEDIANTE DATOS DE TEMPERATURA Y/O PRECIPITACION EN DIFERENTES CLIMAS

Francesc CASTELLVI¹, M^a.Angels ARTIGUES²

Introducción

La radiación solar es una variable climatológica primaria e imprescindible para una adecuada caracterización climática. A partir de la radiación solar es posible estimar la radiación neta, componente principal de la ecuación de balance de energía de una superficie natural. Las ecuaciones empíricas o semi-empíricas para estimar la evapotranspiración de mayor precisión precisan la radiación neta. Frecuentemente, el flujo de calor latente o evapotranspiración es a su vez un término relevante dentro de la ecuación de balance de agua de una superficie natural. En consecuencia, la radiación solar es la fuente de energía principal que condiciona multitud de procesos físicos, biológicos y químicos (cambio de fase del agua en estado líquido y sólido, fotosíntesis, crecimiento de cultivos, estado hídrico de cubiertas vegetales para evaluar riesgos de incendios, etc.) y por ello es una variable deseable para la planificación y simulación de procesos agrícolas y hidrológicos. También lo es para analizar cuanta energía puede obtenerse mediante colectores solares.

Hay varios estudios de la climatología de la radiación solar a escala mundial, pero como depende de factores específicos del lugar (turbiedad del aire, tipo de nubes, etc), su medida local es esencial, y por tanto, también la calibración de ecuaciones empíricas para su estimación. Según STANHILL(1965), si un piranómetro tiene poca resolución o no está bien calibrado puede llegar a ofrecer medidas con mayor error que las expresiones de estimación basadas en una relación lineal dependiente de la insolación (ANGSTRÖM, 1924; MARTINEZ-LOZANO et al., 1984). Es importante mencionar que la FAO (ALLEN et al., 1998) recomienda la expresión de ANGSTRÖM (1924) para estimar la radiación solar.

En determinados países, la disponibilidad de registros de radiación solar diaria es menor que los de insolación y a su vez esta es mucho menor con respecto a registros de temperatura y precipitación. Si bien el número de estaciones que registran la radiación solar ha ido aumentando en la última década, frecuentemente las series climáticas son cortas. Por otro lado, la demanda de datos de radiación solar en las dos últimas décadas ha ido en aumento con intención de mejorar la precisión en diversos cálculos de carácter climático, agrícola y hidrológico. Ello explica el hecho de que hayan ido surgiendo numerosos métodos y ecuaciones para su estimación que dependen de variables

primarias disponibles. En consecuencia, un gran número de estas ecuaciones dependen de la temperatura y/o de la precipitación (un amplio conjunto de referencias puede encontrarse en CASTELLVI, 2001). Ello se debe a dos factores; su medida no es subjetiva. No siempre la insolación está disponible.

Las ecuaciones para estimar la radiación solar son de gran utilidad independientemente de lo técnicamente desarrollado que sea un país o región. Una región adecuadamente instrumentada con registros de radiación solar de varias décadas puede hacer uso de dichas ecuaciones para reconstruir largas series climatológicas, asumiendo que no ha habido un cambio climático

Este estudio tiene como objetivo presentar la bondad y comparación de diversos métodos para estimar la radiación solar diaria en diferentes climas. Un método precisa la ocurrencia de precipitación (McCASKILL, 1990); Tres métodos precisan datos de temperatura (RICHARDSON, 1985; HARGREAVES et al., 1985; BRISTOW y CAMPBELL, 1984); Dos métodos precisan la temperatura y precipitación (CASTELLVI, 2001; HUNT et al., 1998). Si bien existen numerosos métodos alternativos para estimar la radiación solar mediante datos de precipitación y temperatura, se han seleccionado los mencionados en base a su extenso uso en la última década con fines de modelización agraria y de generación o simulación de series sintéticas.

Material y métodos

La base de datos disponible consta de doce estaciones localizadas en lugares con climas diversos. Un grupo de tres estaciones están localizadas en un clima árido, dos en un clima frío, cinco en clima templado con una variación notable del grado de continentalidad y humedad, dos en clima tropical y dos en clima sub-tropical. Un mínimo de diez años de datos sin interrupción en base diaria de precipitación, temperaturas máximas y mínimas y de radiación solar fueron utilizados para calibrar los seis métodos de estimación de la radiación solar en base diaria y mensual. Previamente se realizó un test de homogeneidad para cada serie climática mensual (todas las variables) en cada lugar con el objetivo de poder asumir (con un nivel de confianza del 10%) que no hubo ningún cambio climático durante los periodos analizados. Por tanto, los coeficientes calibrados y estadísticos asociados como el coeficiente de determinación, error cuadrático medio e índice de concordancia (WILLMOTT, 1982) pueden considerarse climáticamente representativos del lugar en base a la inter-dependencia que existe entre la radiación solar y la nubosidad y la

¹ Dr. Prof. Tit. Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo, DMACS-UdL, Universidad de Lleida (Spain), C.Rovira Roure, 191, 25198 Lleida, E-Mail: F-Castellvi@macs.udl.es.

² Ing.Tec. Forest, Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo, DMACS-UdL, Universidad de Lleida (Spain), C.Rovira Roure, 191, 25198 Lleida, E-Mail: angelsart@hotmail.com

temperatura y el número mínimo de años necesarios para caracterizar las dos últimas variables. La calibración de todas las ecuaciones se realizó mediante análisis de regresión.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos (no se muestran en este documento) en los lugares estudiados indican que en climas muy fríos y en climas tropicales, ninguna de las ecuaciones analizadas ofreció buenas estimaciones en base diaria. Sin embargo, cuando la calibración se realizó en base mensual, en clima muy frío las estimaciones fueron aceptables. En clima tropical ninguna ecuación ofreció buenas estimaciones. Las ecuaciones basadas exclusivamente en la amplitud térmica (RICHARDSON, 1985; HARGREAVES et al., 1985; BRISTOW y CAMPBELL, 1984), se fundamentan en procesos de origen puramente radiativo. Es decir se basan en el hecho de que un día con cielo despejado (o con poca nubosidad) la amplitud térmica es notable. La temperatura máxima diaria será alta debido a que la superficie terrestre recibe gran cantidad de energía, y la temperatura mínima diaria será baja debido a la gran apertura de la ventana atmosférica propiciando el enfriamiento radiativo. En días nublados, la amplitud térmica tiende a ser pequeña ya que la ventana atmosférica se reduce. Por tanto, como días despejados responden a máximos de radiación solar y días nublados responden a valores mínimos, la radiación solar debería estar positivamente correlacionada con la amplitud térmica y por tanto, en principio, esta última debería explicar parte de la varianza de la radiación solar o ser útil para estimar la transmisividad atmosférica. De hecho, es el mismo principio en el que se basa la expresión de ANGSTRÖM (1924) aunque esta utiliza la insolación que es una medida directa que depende del tipo, cantidad y localización de las nubes. Dado que la amplitud térmica no parece explicar la radiación solar en climas muy fríos y tropicales, significa que la amplitud térmica queda muy afectada por otro tipo de procesos que no son de origen radiativo. Estos procesos que afectan a la temperatura del aire cercano a la superficie del suelo deben ser por tanto de origen advectivo y convectivo, conductivo y de transición de fase (evaporación y condensación). Por ejemplo, en climas muy fríos, puede suceder que; el suelo este helado durante largos periodos; hayan inversiones térmicas muy estables; pasos de frentes muy fríos, etc, provocando temperaturas mínimas muy bajas e induciendo a registrar elevadas amplitudes térmicas diarias. Estos procesos pueden darse durante días con cielos parcialmente nublados o con escasa radiación solar. En climas muy húmedos, caso de lugares tropicales, el elevado valor de la constante de vaporización amortigua los cambios de la temperatura obteniéndose poca variación en la amplitud como respuesta al estado nublado. Ello explica los resultados obtenidos en climas muy fríos y tropicales. El hecho de que únicamente en base mensual las ecuaciones ofrecieran buenas estimaciones en climas fríos puede explicarse por que esta es una base temporal larga con respecto al periodo de los diferentes procesos que pueden afectar la amplitud térmica diaria. Es decir, estos

procesos quedan amortiguados o filtrados al determinar la amplitud térmica mensual. Ello no sucede en climas tropicales porque el alto contenido de agua en el aire es elevado y permanente durante todo el año.

En las estaciones de clima subtropical únicamente el modelo Tamsim modificado por CASTELLVI (2001) resultó aceptable. En las estaciones con clima frío templado, la amplitud térmica explica gran parte de la radiación solar y se obtienen mejores estimaciones diarias cuando la ecuación contempla datos de ocurrencia o cantidad de precipitación diaria. La ecuación propuesta por HUNT et al. (1998) y el modelo Tamsim modificado por CASTELLVI (2001) resultaron superiores que los basados exclusivamente en la amplitud térmica o en la ocurrencia de precipitación. En las estaciones con climas secos, las ecuaciones basadas exclusivamente en la amplitud térmica ofrecieron estimaciones aceptables en base diaria, excelentes en base mensual, y fueron superiores a las ecuaciones restantes.

Referencias bibliográficas

- ALLEN, R.G; PEREIRA, L.S; RAES, D; SMITH, M.. Crop Evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. **FAO Irrigation and Drainage**. Paper nº 56. Roma. 1998
- ANGSTRÖM, A.. Solar and terrestrial radiation. **Quart. J. R. Met. Soc.** 50, 121-126. 1924
- BRISTOW, K.L.; Campbell, G.S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. **Agric. Forest Meteorol.**, 31, 150-166. 1984
- CASTELLVI, F. A new simple method to estimate the monthly and daily solar radiation. A study case in Lleida (a semiarid climate). **Theoretical and Applied Climatology**. 69, 231-238. 2001.
- HARGREAVES, G.L; HARGREAVES, G.H., RILEY, J.P. Irrigation water requirement for Senegal River Basin. **J.Irrig.Drain.Eng.**, ASCE 111, 265-275. 1985
- HUNT, L.A; KUCHAR, L; SWANTON, C.J. Estimation of solar radiation for use in crop modelling. **Agric. Forest Meteorol.**, 91, 293-300. 1998.
- MARTINEZ-LOZANO, J.A; TENA, F; ONRUBIA, J.E., DE LA RUBIA, J. The historical evolution of the Angström formula and its modifications: review and bibliography. **Agri. Forest Meteorol.**, 33, 109-128. 1984.
- McCASKILL, M.R. TAMSIM - a program for preparing meteorological records for weather driven models. **Tropical Agronomy Technical Memorandum**, 65. CSIRO, Div. Of Tropical Crops and Pastures, Brisbane, 26 pp. 1990.
- STANHIL, G. A comparison of four methods of estimating solar radiation. In *Methodology of plant eco-physiology.*, pp 55-61. **Proc. Montpellier Symposium, UNESCO**. Paris. 1965.
- WILLMOTT, C.J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin American Meteorological Society** 63, 11, 1309-1313. 1982.