

# Software de simulación para la radiación solar (SSRS)

## Software of simulation for the solar radiation

Juan Arturo Díaz Rengifo<sup>1</sup> y Marco Antonio Paredes Riberos<sup>2</sup>

Recibido: abril 2015

Aceptado: junio 2015

### RESUMEN

El presente trabajo trata sobre la elaboración de un software aplicativo que permita determinar el contenido energético que incide sobre la latitud local en la Amazonía peruana y que en el futuro inmediato posibilite estudiar el comportamiento de los microclimas y predecir los riesgos de desastres naturales. El programa se elaboró haciendo uso de la plataforma de LabVIEW. Consta de dos modelos matemáticos: el primero permite determinar la radiación solar extraterrestre, y se consideró el modelo matemático de S. A. Kleim que contiene los parámetros de latitud, declinación solar y ángulo solar. El segundo permite determinar la irradiación solar de Bristow-Campbell, que se basa fundamentalmente en la diferencia de temperatura máxima y mínima del promedio diario y de coeficientes empíricos característicos de la topografía, la nubosidad y la contaminación atmosférica. Se evaluó el software para conocer su confiabilidad mediante una serie de pruebas de datos introducidos manualmente y se comparó con información de la estimación de la radiación solar en Iquitos, Perú. El software nos permitió conocer el comportamiento climático mediante un ensayo en cuatro periodos anuales entre el 2010 y 2013.

**Palabras claves:** software, simulación, LabVIEW, desastres, Amazonía.

### ABSTRACT

This study is about the development of a software application that allows to determine the energy content impinging on the local latitude in the Peruvian Amazon and that in the immediate future will allow to study the behavior of microclimates and predict the risks of natural disasters. The program was developed using the LabVIEW platform. It consists of two mathematical models: the first to determine the extraterrestrial solar radiation, and the mathematical model was considered S. A. Kleim containing the parameters of latitude, solar declination and solar angle. The second mathematical model to determine the solar radiation Bristow-Campbell that is mainly based on the difference in average daily maximum and minimum temperature and empirical coefficients characteristic of the topography, cloud cover and air pollution. The software was evaluated to know its reliability through a series of runs manually entered data and compared with information estimating solar radiation in Iquitos, Perú. The software allowed us to meet climate behavior by a test in 4-year periods between 2010 and 2013.

**Key words:** software, simulation, LabVIEW, disaster, Amazonía.

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático, en particular el calentamiento del planeta, está afectando gradualmente la biota en sus diversas formas y como

consecuencia, las actividades sociales y económicas en la Amazonía peruana.

Al aumentar la variabilidad del clima, ejerce más presión en la naturaleza frágil,

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP). Freyre 616, Iquitos, Loreto, Perú. arturodiaz37@yahoo.es

<sup>2</sup>Dirección de Investigación. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi) - Loreto. Iquitos, Loreto, Perú.

poniendo en riesgo el equilibrio de los ecosistemas (Fundación Manuel J. Bustamante de la Fuente, 2010). Los extremos climáticos producto del calentamiento global, son casi imposibles de prever, y podrían hacerse más frecuentes, que condujeran a un incremento de la temperatura, produciendo un deshielo de las masas de agua en la cordillera de los Andes, mayor evapotranspiración y frecuentes precipitaciones pluviales que incrementaría el nivel de los ríos por encima de sus condiciones normales, o en todo caso la disminución de la humedad que afecta en su conjunto el desarrollo de la flora y la fauna.

La energía solar y la contaminación atmosférica, fuentes de los cambios de temperatura, humedad y precipitación pluvial, son hoy en día una amenaza para la biodiversidad, la economía del mercado y la calidad de vida de las personas.

El problema del contenido energético de la radiación solar extraterrestre y la irradiación solar en la superficie de la selva alta o baja en la Amazonía, es diferente, comparando con la sierra y la costa, debido a su particular topografía, la naturaleza de sus suelos, la formación dinámica de las nubes y, su contaminación atmosférica. Por esta razón, el objetivo del presente trabajo fue elaborar un software aplicativo que permita conocer el comportamiento del contenido energético que incide en una determinada latitud y que en el futuro posibilite estudiar el comportamiento de los microclimas y predecir los eventos naturales.

El programa se elaboró haciendo uso de la plataforma de LabVIEW (Lázaro, 2001) y consta de dos modelos matemáticos. El primero, para la radiación solar extraterrestre, donde el modelo matemático de S. A. Kleim contiene los parámetros de declinación solar, ángulo solar y latitud (Allen et

al., 1998). Estos valores pertenecen al tope de la exósfera (límite superior de la atmósfera), donde existe una ausencia de gases de efecto invernadero.

El modelo matemático de Kleim considera los parámetros siguientes:

$$H_o = (1/\pi) I_o E_o [\cos \phi \cos \delta \sin \omega + \omega (\sin \phi \sin \delta)]$$

Donde:

$H_o$  es la radiación solar en MJ/m<sup>2</sup>día.

$I_o$  es la constante solar actual.

$E_o$  es el factor excéntrico de la órbita terrestre.

$\phi$  la latitud.

$\delta$  la declinación solar.

$\omega$  el ángulo solar.

Los modelos matemáticos para la declinación solar y el ángulo solar se expresan de la manera siguiente:

$$\delta = 23,45 \sin [360 ((284 + n)/365)]$$

Donde:

$n$  es el día del año.

$$\omega = \arccos (-\text{Tang } \phi \text{ Tang } \delta)$$

Donde:

$\phi$  es la latitud del lugar.

En el segundo modelo utilizado, para determinar la irradiación solar en la superficie terrestre, se consideró el modelo matemático de Bristow-Campbell y se basa fundamentalmente en la diferencia de la temperatura máxima y mínima promedio y de factores empíricos que considera la

transmitancia, la contaminación atmosférica y la altitud (Baigorria *et al.*, 2003; Castellvi, 2008).

$$H/H_0 = \alpha [1 - \exp(-\beta \Delta T^\gamma)]$$

Donde:

$\alpha$  es la transmitancia como el factor relativo entre la irradiación solar en la superficie del suelo (H) y la radiación solar extraterrestre diaria promedio, que obedece a la ley de Beer (Jensen *et al.*, 1990; Monteith y Unsworth, 1992).

El factor  $\gamma$  se encuentra en función de la temperatura promedio mínima diaria y de la temperatura promedio máxima diaria; además de la latitud del lugar de incidencia solar, determinada por la relación matemática siguiente:

$$\gamma = 0,00432 - 0,00144*(T_{\max} - T_{\min}) + 1,15148*\exp \phi$$

El factor  $\beta$  se encuentra en función de factores del aire, la contaminación atmosférica y de su altitud; se determina por la relación matemática en función de  $\gamma$  y de la manera siguiente:

$$\beta = 0,107*\gamma^{**}(-2,6485)$$

## MATERIAL Y MÉTODO

Se utilizó una laptop marca hp compact con procesador AMD Turion 64 x 2 de 1,6 GHz, 1 GB de memoria RAM, en soporte Windows XP y el software de programación de LabVIEW V6i.

El diseño fue experimental propiamente dicho, mediante el uso de la técnica de

ensayo y error, donde para el procedimiento experimental se tomaron en cuenta la revisión e identificación de los modelos matemáticos recomendados para el Perú (Senamhi, 2003). Luego, se diseñó el algoritmo y se elaboró el software haciendo uso del programa de LabVIEW y se sometió el programa a múltiples pruebas manuales, con información de temperaturas promedio mínimas y máximas alcanzadas por el Senamhi-Loreto para su confiabilidad mediante los modelos matemáticos de Kleim y Bristow-Campbell. Se contrastaron los resultados con información de un estudio realizado para estimar la radiación solar en Iquitos.

## RESULTADOS

El programa de LabVIEW tiene dos ventanas: el panel frontal, donde se introducen los valores iniciales a través de los controles y se visualizan el proceso y los resultados en los indicadores; y el panel diagrama, donde se encuentran las funciones operativas de la lógica de programación.

En el diseño del panel para la radiación solar extraterrestre, se consideraron los controles de adquisición de datos, latitud, selector del día, mes y año; así como también, mediante los indicadores, la presentación gráfica y numérica de los cálculos que realiza el programa, como es la curva de la radiación solar y una muestra de los valores numéricos de la declinación solar, el ángulo solar y la radiación solar en MJ/m<sup>2</sup>día.

Se evaluó el software, mediante su consistencia y reproducibilidad de la información, introduciendo datos alcanzados por el Senamhi-Loreto (Senamhi, 2013) mediante varias pruebas del programa (Lázaro, 2001).

En la figura 1 se aprecia la curva que representa los valores de la radiación solar extraterrestre para la latitud de Iquitos de  $3,45^\circ$  S.

En la elaboración del panel para la irradiación solar, lado izquierdo, se encuentran los controles de latitud, selector del día, mes y año, las temperaturas mínimas y máximas que se introducen; en el centro del panel, los indicadores de la gráfica que muestra los picos máximos y mínimos de la irradiación solar; así como también, en el lado derecho, la presentación numérica del procesamiento de los datos que simula el programa de los factores empíricos ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$ ) y de la irradiación solar en unidades dimensionales de MJ/m<sup>2</sup>día.

En la parte inferior podemos apreciar la dirección del registro de la información

procesada de manera automática en el modo seleccionado de texto (.txt) y hoja de cálculo (.xls).

En la elaboración del panel diagrama para la irradiación solar se tuvo en cuenta el modelo matemático de Bristow-Campbell y se consideró el valor de la transmitancia de  $\alpha = 0,75$ ; valor promedio entre 0,70 y 0,80 para una zona tropical, con una atmósfera no contaminada y con nubes de elevación moderada (Allen et al., 1998; Donatelli y Campbell, 1998).

En la figura 2 se aprecia la curva de la irradiación solar para la ciudad de Iquitos con latitud de  $3,45^\circ$  S, obtenida para las temperaturas máximas y mínimas de promedios diarios del año 2012.

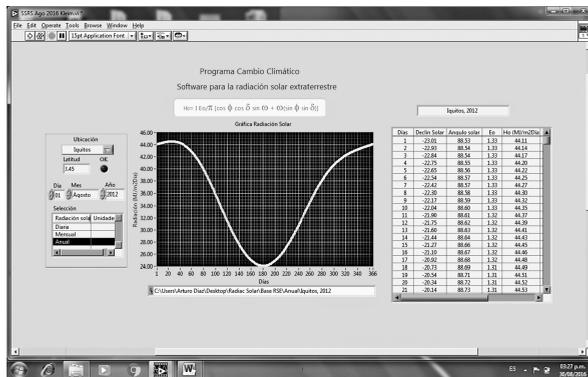


Figura 1. Software para la radiación solar extraterrestre.

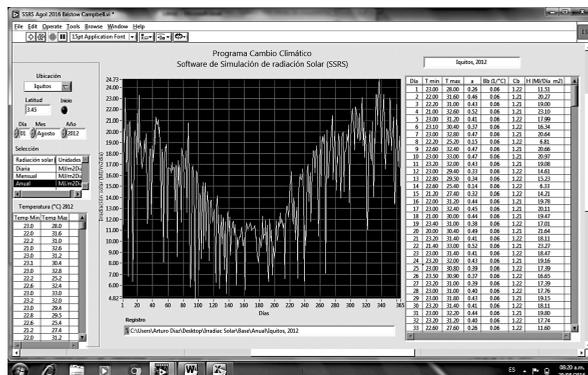


Figura 2. Software para la irradiación solar.

Con fines demostrativos, en el software de simulación de irradiación solar (SSIS) se introdujeron los datos de latitud de la ciudad de Iquitos, se seleccionó la sección anual y se incorporaron las temperaturas mínimas y máximas de los promedios diarios, que corresponden a los años 2010, 2011, 2012 y 2013, generando la tabla 1 como se muestra a continuación.

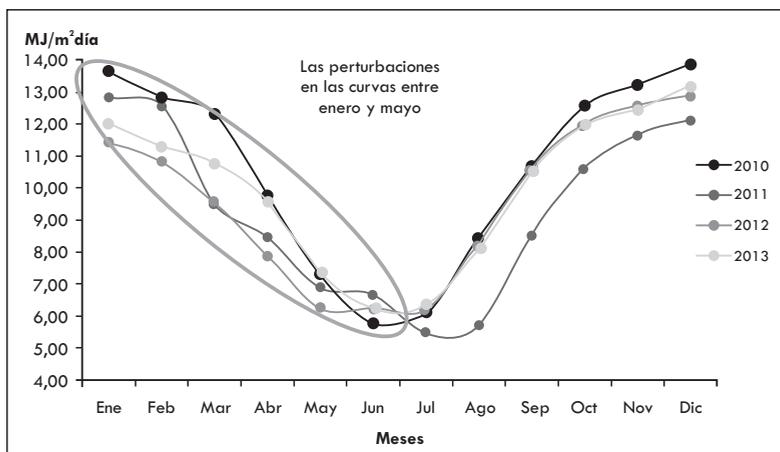
Con esta información se obtuvo la figura 3. Se observa en las cuatro curvas, las

perturbaciones que se produjeron entre los meses de enero y mayo de cada año. Analizando estas fluctuaciones, podemos notar que la curva de color negro estuvo en relación con la inundación que sufrió la ciudad de Iquitos y pueblos de la Amazonía en el año 2012.

Los valores más bajos de la irradiación solar muestran un mayor factor  $\alpha$  de menor transmitancia, mayor nubosidad y mayor frecuencia de precipitaciones pluviales entre enero y mayo.

**Tabla 1.** Irradiación solar en la ciudad de Iquitos 2010-2013 en MJ/m<sup>2</sup>día.

Meses	2010	2011	2012	2013
Enero	13,66	12,82	11,45	12,03
Febrero	12,84	12,56	10,83	11,31
Marzo	12,33	9,51	9,55	10,78
Abril	9,79	8,46	7,89	9,60
Mayo	7,29	6,89	6,25	7,35
Junio	5,78	6,67	6,21	6,22
Julio	6,14	5,48	6,24	6,31
Agosto	8,43	5,69	8,23	8,15
Septiembre	10,66	8,53	10,58	10,55
Octubre	12,57	10,63	12,00	11,98
Noviembre	13,24	11,67	12,59	12,48
Diciembre	13,87	12,14	12,88	13,18



**Figura 3.** Irradiación solar en la ciudad de Iquitos 2010-2013.

## DISCUSIÓN

El Centro de Automatización, Robótica, y Tecnologías de la Información y la Fabricación (Cartif) (Sáenz *et al.*, 2001), ha desarrollado un software haciendo uso de la plataforma de LabVIEW, para simular la radiación solar incidente sobre superficies bajo diferentes condiciones y que permite su diseño modular, y posibilitar ampliar para mejorar su capacidad. Así, el software puede realizar estudios de seguimiento, ángulo de inclinación, latitudes, orientación y sombreadamiento para días claros. La limitación del software es que, no permite un estudio para días nublados en la región, puesto que, presupone una radiación solar mayor de la que realmente es. El programa solamente estudia sistemas de seguimiento azimutal (Sáenz *et al.*, 2001).

Los valores obtenidos del programa elaborado para la radiación solar extraterrestre (SSRS) se contrastaron con los valores encontrados por Julián (los datos históricos de temperatura del periodo de diez años 1975-1985 fueron proporcionados por el Senamhi-Loreto) con un valor promedio de radiación solar de  $32 \text{ MJ/m}^2 \text{ día}$  (Julián, 1986). Comparando con los valores obtenidos con el software elaborado se encontró un valor promedio de la radiación solar de  $35 \text{ MJ/m}^2 \text{ día}$ .

Haciendo uso de modelos matemáticos recomendados por el Senamhi-Lima en el Atlas de energía solar del Perú 2003, se han encontrado similares valores de  $\gamma$  y  $\beta$  de 0,06 y 1,22 para la selva, mediante la aplicación del SSRS.

## CONCLUSIONES

Se logró elaborar un software de simulación para la radiación solar (SSRS), haciendo uso de la plataforma de LabVIEW V6i, y gracias a las características del lenguaje se realizó de

una manera sencilla y versátil. La finalidad es conocer el comportamiento del contenido energético que incide sobre la latitud local seleccionada, con parámetros particulares de un sector de la Amazonía peruana y para que en el futuro podamos tener un mapa solar en la Amazonía que nos permita estudiar el comportamiento de los microclimas y predecir los riesgos de los desastres naturales.

El software constituye una importante herramienta para contribuir al estudio del cambio climático en la Amazonía peruana, brindar información sobre los desplazamientos estacionales, las posibles sequías, inundaciones, friaje, floración, fructificación, apareamientos, desoves, entre otros factores.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana por el apoyo brindado para su difusión y al Senamhi-Loreto por los datos de temperaturas facilitados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen RG, Pereira IS, Raes D, Smith M. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements, FAO, Irrigation and drainage 56. Roma.
- Baigorria GA, Villegas EB, Trebejo I, Carlos JF, Quiroz R. 2003. Solar irradiation in complex terrenos and empirical relation to its estimation. Environmental Modelling and Software - Elsevier, feb 2003.
- Castellvi F. 2008. Evaluation of three practical methods daily solar radiation in dry climates. The open atmospheric science journal, 2, 185-191.
- Donatelli M, Campbell GS. 1998. A Simple Model to Estimate Global Solar Radiation.

- Proceedings of the 5th ESA Congress. Nitra. Slovak Republic. 1998, 133-134 Nitra.
- Fundación Manuel J. Bustamante de la Fuente. 2010. Cambio climático en el Perú - Amazonía. Lima.
- Jensen ME, Burman RD, Allen RD. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering practices 70. American Society for Civil Engineers. NY.
- Julián C. 1986. Estimación de la radiación solar en Iquitos. Convenio IIAP-UNAP.
- Lázaro A. 2001. LabVIEW. Programación gráfica para el control de instrumentación. Editorial Paraninfo. Madrid.
- Monteith JL, Unsworth MH. 1992. Principles of environmental physics. Chapman and Hall. NY.
- Sánz H, Díaz J, Caballero P, Poncela M. 2001. Software de simulación de la radiación incidente sobre superficies bajo diferentes condiciones. Cartif, Parque Tecnológico de Boecillo. México.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi). 2003. Atlas de energía solar del Perú. Lima.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi). 2013. Informe Técnico 011 - Loreto.