

## Modelo de Radiación Solar para la Universidad Tecnológica del Sureste de Veracruz

GONZALES-Rafael\*†, CAYETANO-Francisco, MATA-Moisés y CRUZ- Abdías

*Universidad Tecnológica del Sureste de Veracruz. Av. Universidad Tecnológica, lote grande número 1, sin colonia C.P. 96360 Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río, Veracruz.*

Recibido Julio 28, 2015; Aceptado Septiembre 24, 2015

### Resumen

En este artículo se desarrolla un modelo de radiación solar para la Universidad Tecnológica del sureste de Veracruz mediante herramientas computacionales. El modelo desarrollado emplea variables meteorológicas, de bajo coste, temperatura máxima, temperatura mínima y humedad relativa, obtenidas de la estación meteorológica automática La Cangrejera, esta estación forma parte del sistema meteorológico nacional. Este modelo permitirá predecir cuanta radiación solar se puede esperar en el área geográfica que ocupa la Universidad Tecnológica del sureste de Veracruz y con ello poder determinar cuanta energía eléctrica se obtendrá de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica nacional.

**Radiación Solar, Modelo de Radiación Solar, Variables Meteorológicas**

### Abstract

This paper presents a model of solar radiation to the Technological University of Southeast Veracruz using computational tools are developed. The developed model uses meteorological variables, low cost, maximum temperature, minimum temperature and relative humidity, obtained from the automatic weather station La Cangrejera, this station forms part of the national meteorological system. This model will predict how much solar radiation can be expected in the geographical area occupied by the Technological University of southeastern Veracruz and thus to determine how much electricity will come from a connected PV system to the national grid.

**Solar radiation, model solar radiation, model, variable weather**

**Citación:** GONZALES-Rafael, CAYETANO-Francisco, MATA-Moisés y CRUZ- Abdías. Modelo de Radiación Solar para la Universidad Tecnológica del Sureste de Veracruz. Revista de Aplicación Científica y Técnica 2015, 1-2: 137-141

\* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: rafael\_godi@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

México es un país que cuenta con un modelo energético cuya principal fuente son los combustibles fósiles, el uso de éstos en la generación de energía produce un alto impacto ambiental y es una forma de producir energía no sustentable.

México a pesar de ser uno de los principales países productores de petróleo en el mundo no ha dejado de promover proyectos de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables tales como: Eólica, Solar Hidráulica, Geotérmica y de Biomasa, lo que representa el 22.3% del total de la capacidad instalada, de acuerdo con estimaciones de ProMéxico con datos de la Comisión Reguladora de Energía (CRE) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE) [1].

Actualmente en el mundo las tecnologías de energías renovables se encuentran en fase de desarrollo. En el caso de la energía solar fotovoltaica se puede afirmar que este desarrollo de tecnología se centra en dos aspectos: mejorar la eficiencia de ésta y el almacenamiento de la energía producida por ésta respectivamente.

Es sobre este primer aspecto donde hace énfasis el desarrollo de este artículo, mejorar la eficiencia de la energía fotovoltaica a través de la predicción de datos de radiación solar incidente en el área geográfica que ocupa la Universidad Tecnológica del Sureste de Veracruz, mediante un modelo matemático heurístico. Estos datos permitirán diseñar y evaluar la viabilidad de sistemas de energía solar fotovoltaica en zonas geográficas específicas.

## Revisión de la literatura

La estimación de la radiación solar en un determinado lugar geográfico del globo terráqueo, se puede realizar de forma directa mediante instrumentos específicos. En la tabla 1, se muestran algunos de estos instrumentos, así como, el tipo de radiación solar que miden. [2]

Instrumento	Tipo de Radiación que miden
Pirheliómetro Absoluto	Radiación directa
Pirheliómetro de incidencia Normal	Radiación directa
Pirheliómetro (con filtros)	Radiación solar directa en bandas espectrales anchas
Fotómetro solar	Radiación solar directa en bandas espectrales estrechas
Piranómetro	Radiación global, Radiación celeste, Radiación solar reflejada
Piranómetro espectral	Radiación global en intervalos espectrales de banda ancha
Pirgeómetro	Radiación de onda larga descendente / ascendente

**Tabla 1** Instrumentos de Medición de Radiación Solar

La determinación de la radiación solar mediante instrumentos es una forma eficaz de saber cuánta radiación solar se puede esperar, sin embargo, por su elevado costo, no resulta viable su uso en el diseño de sistemas de generación de energía eléctrica que emplean energía solar como fuente de energía renovable.

Por esta no viabilidad se impone la necesidad de contar con modelos que permitan estimar la radiación solar. En bibliografías relacionadas con modelos de radiación solar se observa que la mayoría de estos modelos emplean variables climáticas que requieren un bajo coste para su medición tales como: temperatura, humedad relativa, nubosidad, pluviosidad y horas de sol. [3], [4], [5], [6]

## Modelo de Radiación Solar

En la implementación de sistemas fotovoltaicos, se necesita saber cuánta electricidad se obtendrá del sol, lo anterior implica saber la cantidad radiación solar que se puede esperar. En la Universidad Tecnológica del Sureste de Veracruz, no existen datos históricos de radiación solar.

Al no existir datos de radiación solar, se hace necesario desarrollar un modelo que permita predecir la cantidad de radiación solar y con ello la cantidad de electricidad que se obtendría con la instalación de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica nacional.

Para modelar la radiación solar en el área geográfica que ocupa la Universidad Tecnológica del sureste de Veracruz, se emplea la siguiente ecuación: [7]

$$R_i = a(1 + bH)(1 - e^{-c\Delta T^n}) \quad (1)$$

$$\Delta T = T_{\max} - T_{\min} \quad (2)$$

Dónde:

$R_i$ ,	radiación Solar
$\Delta T$ ,	Diferencia entre temperatura máxima y mínima diaria.
$H$	humedad relativa
$a, b, c, n,$	coeficientes

Se elige la ecuación (2) por incluir variables climáticas que se pueden medir en cualquier lugar geográfico de la tierra con un bajo coste, humedad relativa y temperatura.

Con estas variables climáticas se ajusta un modelo para obtener estimaciones de los coeficientes **a**, **b**, **c**, y **n**, a su vez, estas estimaciones permiten calcular la radiación solar para cualquier cambio de temperatura diaria y humedad.

## Visualización de datos

Las variables meteorológicas se obtuvieron de la estación meteorológica automática La Cangrejera [8] y [9] de sitios disponibles en la web.

En la figura 1 y 2, se puede observar que la radiación solar es alta y consistente hacia la mitad del año, de la misma forma se observa una variabilidad mayor al inicio del año, la cual es consistente con la dinámica de la radiación solar.

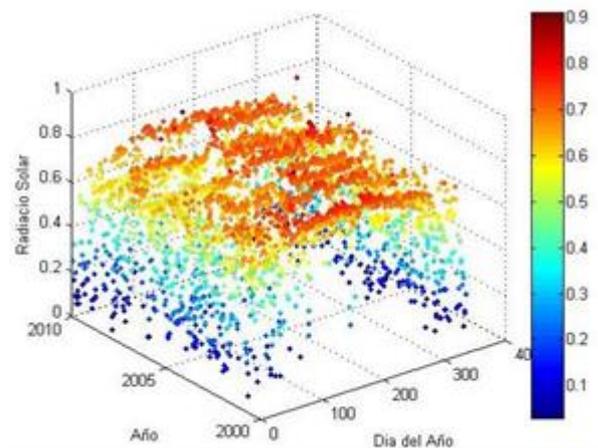


Figura 1 Radiación solar vs año vs día del año.

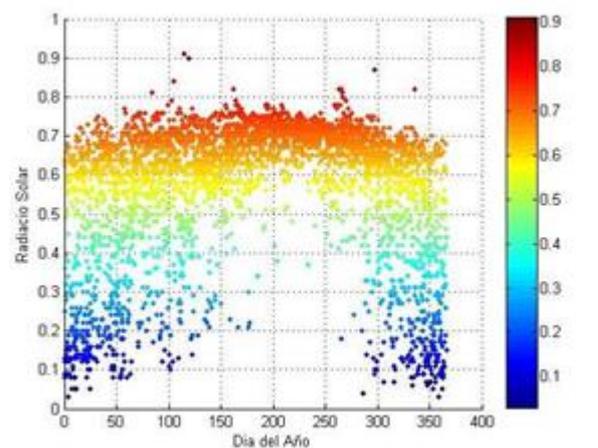


Figura 2 Radiación solar vs día del año

## Construcción del Modelo

Para la creación del modelo las variables meteorológicas se dividirán en dos grupos de datos.

El primer grupo de datos se usará para obtener los coeficientes **a**, **b**, **c**, y **n** de la ecuación (1) y el segundo grupo se empleará para saber qué tan “buenas” son las predicciones del modelo.

El cálculo de los coeficientes de la ecuación 1, así como la creación del modelo se realiza con la aplicación, *Curve fitting* disponible en *Matlab*.

La estimación de los valores de los coeficientes y el modelo creado por la aplicación *Curve fitting* son los siguientes:

### General model

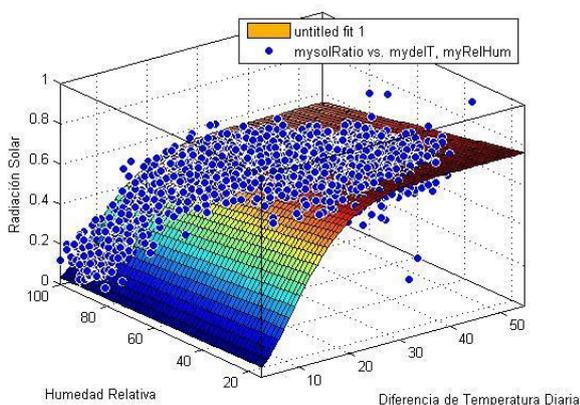
Model  $(x,y) = a*(1+b*y)*(1-\exp(-c*x^n))$   
Coefficients (with 95% confidence bounds):  
a = 0.7995 (0.786, 0.8129)

b = -0.003053 (-0.003328, -0.002777)

c = 0.01015 (0.007716, 0.01258)

n = 1.757 (1.666, 1.847)

*Curve fitting* ha creado un modelo llamado *model* que se ajusta a la ecuación (1), además se ha estimado los coeficientes para el conjunto de datos de: radiación solar, humedad relativa y diferencia de temperatura diaria, de forma gráfica esto se puede observar en la figura 3.



**Figura 3** Representación gráfica del modelo construido

### Resultados

El modelo creado permite hacer predicciones de radiación solar para diferentes valores de temperatura y humedad, por ejemplo, ejecutando *model* en la ventana de comandos de *matlab*, la estimación de la radiación solar para una diferencia de temperatura 300 y una humedad relativa de 80 es de:

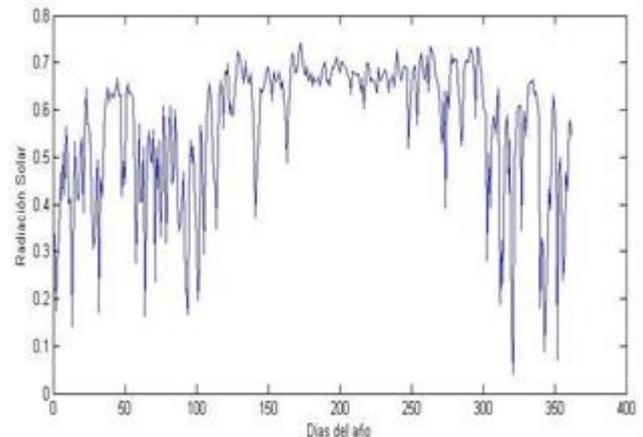
```
>> model(30,80)
```

```
ans =
```

```
0.5931
```

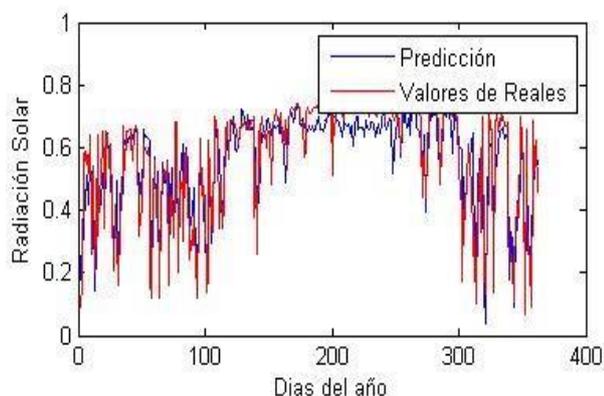
```
>>
```

En empleando el segundo conjunto de datos se realizan predicciones de radiación solar para todo un año, estas predicciones se muestran en la figura 4.



**Figura 4** Estimación de radiación solar para un año

En la figura [5], se muestra la comparación entre valores reales de radiación solar y predicciones de radiación solar generadas por el modelo.



**Figura 5** Comparación valores reales de radiación solar vs predicciones de radiación solar

### Conclusiones

En este artículo se desarrolló un modelo, que estima cuanta radiación solar se puede esperar en el área geográfica que ocupa la Universidad Tecnológica del sureste de Veracruz, mediante la aplicación *Curve fitting* disponible el *software Matlab*.

Este modelo realiza estimaciones de radiación solar a través de variables climáticas que se pueden medir en cualquier lugar geográfico del planeta, temperatura y humedad relativa.

### Agradecimientos

Proyecto financiado por PROMEP

### Referencias

[http://mim.promexico.gob.mx/wb/mim/energias\\_perfil\\_del\\_sector](http://mim.promexico.gob.mx/wb/mim/energias_perfil_del_sector)

Apéndice C.

Atlas de la Radiación Solar en Colombia.

Dora Ocampo\*; Raúl Rivas

Estimación de la radiación neta diaria a partir

De modelos de regresión lineal múltiple

[4] Irmak, S., Irmak, A., Jones, J. W., Howell, T.

A., & Jacobs, J. M.

Predicting daily net radiation using minimum climatological data.

C. Raichijk, F. Taddei

Estudio comparativo de modelos empíricos de estimación de la radiación solar directa horaria

Pérez R, Ineichen P, Maxwell E, Seals R, Zelenka A.

Dynamic global-to-direct irradiance conversion models

R.Torrez, a. Burgoa, & E. Ricaldi

Modelos de estimación de la radiación solar para el altiplano central de Bolivia.

Estación Meteorológica La Cangrejera  
<http://smn.cna.gob.mx/emas/>

<http://www.mmnt.net/>