

Waldy Aníbal Riveros Saavedra<sup>1</sup> 

<https://orcid.org/0000-0003-2331-4822>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Itapúa. Facultad de Ingeniería. Departamento de Investigación. Encarnación, Paraguay. [wriveros@uni.edu.py](mailto:wriveros@uni.edu.py)

## Resumen

Se realizó un análisis de la irradiación solar en la ciudad de Encarnación, mediante la utilización de ecuaciones trigonométricas de la esfera celeste y el modelo matemático isotrópico de Liu y Jordan, centrado en los días característicos mensuales. A partir de datos confiables de la irradiación solar sobre superficie horizontal, se hallaron valores de irradiación mensual para ángulos óptimos de inclinación de la superficie captadora y también para un ángulo de 27° de inclinación anual, valor de latitud correspondiente a Encarnación. Con los valores obtenidos se determinaron la curva de ángulos óptimos de inclinación para una superficie captadora de energía solar, la curva de irradiación global diaria para dichos ángulos y el aporte de las componentes de la irradiación. La sistematización del cálculo permitió obtener información diaria, mensual y anual de irradiación. El programa de cálculo elaborado, también permite aplicarse para cualquier latitud y ángulo de inclinación de la superficie de captación de energía. Los valores y curvas obtenibles serán útiles para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos e instalaciones solares térmicas.

**Palabras claves:** Irradiación, Latitud, Ángulos óptimos, Curvas de irradiación.

## Abstract

An analysis of solar irradiation in the city of Encarnación was carried out, using trigonometric equations of the celestial sphere and the isotropic mathematical model of Liu and Jordan, centered on the monthly characteristic days. From reliable data on solar irradiation on the horizontal surface, monthly irradiation values were found for optimal angles of inclination of the collecting surface and also for an angle of 27° of annual inclination, a latitude value corresponding to Encarnación. With the obtained values, the curve of optimal inclination angles for a solar energy collecting surface, the daily global irradiation curve for said angles and the contribution of the irradiation components were determined. The systematization of the calculation allowed obtaining daily, monthly and annual irradiation information. The calculation program developed can also be applied to any latitude and angle of inclination of the energy collection surface. The values and curves obtainable will be useful for sizing photovoltaic systems and solar thermal installations.

**Keywords:** Irradiation, Latitude, Optimal Angles, Irradiation curves.

Área del conocimiento: Ingeniería y Arquitectura

Correo de Correspondencia: [wriveros@uni.edu.py](mailto:wriveros@uni.edu.py)

Conflictos de Interés: El autor declara no tener conflictos de intereses

 Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons CC-BY

Fecha de recepción: 22/10/2019

Fecha de Aprobación: 13/07/2020

Página Web: <http://publicaciones.uni.edu.py/index.php/rseisa>

Citación recomendada: Riveros Saavedra, W. A. (2020). Análisis de la Irradiación Solar Disponible en Encarnación. Revista sobre estudios e investigaciones del saber académico (Encarnación), 14(14): 70-75

## Introducción

La obtención o determinación de valores de energía solar disponible en cierta latitud son necesarios para dimensionar equipos de captación de dicha energía. Los sistemas de captación pueden ser térmicos o fotovoltaicos, y se utilizan para calentar agua, generar energía eléctrica, calefaccionar y refrigerar edificios. Los datos de irradiancia solar ( $\text{kW/m}^2$ ), necesarios para obtener la irradiación solar ( $\text{kWh/m}^2$ ), se obtienen mediante mediciones realizadas por piranómetros, en las estaciones meteorológicas.

“A partir de estos datos de potencia instantánea real se puede obtener, por integración temporal, la energía captada por la unidad de superficie con las características de radiación e inclinación propias de la irradiancia de partida” (Cañada R., J. 2008, p52). Si la integración se realiza sobre una curva de irradiancia, se obtiene la irradiación diaria ( $\text{kWh/m}^2\text{día}$ ) disponible.

Las mediciones de irradiancia solar sobre plano horizontal, deben realizarse durante varios años para considerar su integración posterior y obtener datos de irradiación. “Normalmente, se necesitan once años de datos de irradiación solar de la estación meteorológica para la evaluación del sitio” (Derouch, W; et al. 2014). Si se consideran inclinaciones de la superficie de captación solar, los datos obtenibles a partir de las mediciones usuales, no pueden utilizarse directamente, y por tanto será necesario realizar cálculos posteriores. En este trabajo, por tanto, se establecieron los siguientes objetivos:

- Sistematizar el cálculo de irradiación solar para cualquier latitud y ángulo de inclinación de la superficie de captación;
- analizar la irradiación solar en la ciudad de Encarnación, para ángulos notables de inclinación de la superficie captadora;
- y obtener valores de irradiación solar utilizables para el dimensionamiento de sistemas térmicos y fotovoltaicos.

## Marco teórico

### Inclinación óptima de captadores solares

A continuación, se establecen las magnitudes y ecuaciones trigonométricas de la esfera celeste que se utilizaron (Cañada R., J. 2008, p.9-32).

La declinación  $\delta$  es el ángulo que forma la línea que une los centros de la Tierra y el Sol con el plano ecuatorial, y puede variar de  $-23,5^\circ$  a  $23,5^\circ$  de acuerdo al día  $n$  (1 a 365) que se considere.

$$\delta = 23,45^\circ \text{sen} \left[ \frac{360}{365} (284 + n) \right] \quad (1)$$

La altura solar  $h$  es el ángulo del Sol sobre el horizonte celeste del observador y varía de  $0$  a  $90^\circ$ . La latitud geográfica  $\varphi$  indica la posición de un punto sobre la tierra con respecto al Ecuador y varía de  $-90^\circ$  a  $90^\circ$ . El ángulo horario  $\omega$  es el desplazamiento angular del Sol hacia el

este o el oeste del meridiano local debido a la rotación, y varía de  $-180^\circ$  a  $180^\circ$ . Se tiene una ecuación que relaciona estas magnitudes:

$$\text{sen } h = \text{sen } \varphi \text{sen } \delta + \text{cos } \varphi \text{cos } \delta \text{cos } \omega \quad (2)$$

La inclinación de los captadores solares deberá lograr que las pérdidas sean mínimas y para ello “se procurará que la radiación solar incida perpendicularmente sobre la superficie del captador al mediodía solar del día medio del periodo de utilización de la instalación” (Cañada R., J. 2008, p.113).

En el mediodía solar la altura solar  $h$  alcanza su punto más elevado, y el ángulo horario  $\omega = 0$ ; la ecuación 2 se reduce a:

$$\text{sen } h_m = \text{cos } \varphi \text{cos} (90^\circ - h_m) = \text{cos } \varphi \text{cos} (\varphi - \delta) \quad (3)$$

Luego, la altura solar máxima es:

$$h_m = 90^\circ + \varphi - \delta \quad \text{Hemisferio Sur} \quad (4)$$

$$h_m = 90^\circ - \varphi + \delta \quad \text{Hemisferio Norte} \quad (5)$$

El ángulo de incidencia de los rayos solares  $\theta$ , formada por la normal a una superficie inclinada de captación y la línea que une al observador con el Sol, varía de  $0$  a  $90^\circ$ , siendo la altura solar  $h$  el complemento del ángulo de incidencia  $\theta$ .

La inclinación  $\beta$  de la superficie con respecto a la horizontal varía de  $0$  a  $90^\circ$  y el ángulo acimut de la superficie captadora  $\gamma$  o desviación angular de la proyección horizontal de la normal a la superficie inclinada, con respecto a la línea hipotética Norte-Sur varía de  $-180^\circ$  a  $180^\circ$ .

“Normalmente para aplicaciones de aprovechamiento energético de la radiación solar, las superficies de captación están orientadas hacia el Ecuador, para las que  $\gamma = 0$ , debido a que, salvo casos especiales, la energía captada es máxima” (Cañada R., J. 2008, p31).

Si la captación está centrada en el mediodía solar, se tiene la altura solar máxima  $h_m$ , y el ángulo de inclinación diaria  $\beta$  es óptimo, siendo el ángulo de incidencia  $\theta = 0$ .

$$\beta_{\text{opt}} = \varphi - \delta \quad \text{Hemisferio Norte} \quad (6)$$

$$\beta_{\text{opt}} = -\varphi + \delta \quad \text{Hemisferio Sur} \quad (7)$$

### Estimación de la irradiación difusa

“Existen diferentes categorías de modelos de estimación de la radiación solar directa, siendo los de uso más frecuente, los llamados modelos de descomposición, que permiten a partir de la radiación global obtener sus componentes difusa y directa sobre plano horizontal” (Álvarez H, O. H.; et al. 2014).

“Utilizando únicamente el promedio mensual diario de la irradiación global en superficie horizontal, Liu y Jordan han desarrollado un modelo para el cálculo de estas componentes en colectores inclinados con respecto a la horizontal y perfilados hacia el Ecuador, que luego fue perfeccionado por Klein para cualquier dirección” (Vera M, J. J.; Mereles, W. 2008).

La irradiación solar difusa  $H_{dif}$ , se calculó con el modelo isotrópico de Liu y Jordan (Rosas C., M. 2008). De acuerdo a mediciones realizadas en Uruguay, se realizó un artículo que analizó diez modelos para obtener la radiación difusa, y en una de las conclusiones se determinó que la incertidumbre del modelo de Liu y Jordan estaría entre 3% y 4% (Piccioli, I; et al. 2018). La ventaja de utilizarlo es la sencilla aplicación, ya que los modelos anisotrópicos necesitan de factores empíricos más difíciles de obtener.

$$H_{dif} = H (1,39 - 4,027 K_t + 5,531 K_t^2 - 3,108 K_t^3) \tag{8}$$

Índice de nubosidad  $K_t = \frac{H}{H_e}$  que se calcula con:

$$H_e = \frac{24}{\pi} G_{sc} \left[ 1 + 0,034 \cos \cos \left( \frac{n - 360}{365} \right) \right] \times \left( \cos \cos \varphi \cos \cos \delta \sin \omega_{sp} + \frac{\pi \omega_{sp}}{180} \sin \varphi \sin \delta \right) \tag{9}$$

$$\omega_{sp} = \pm \cos^{-1} (- \tan \tan \varphi \delta ) \tag{10}$$

Las componentes de irradiación tienen la unidad de kWh/m<sup>2</sup> día, siendo:

H: media mensual de irradiación global diaria sobre una superficie horizontal, obtenida a través de mediciones locales, estimaciones teóricas o datos satelitales;

$H_{dif}$ : media mensual de irradiación difusa diaria sobre superficie horizontal;

$H_e$ : media mensual de irradiación extraterrestre diaria en superficie horizontal;

$G_{sc}$ : es la constante solar (1,367 kW/m<sup>2</sup>);

$\omega_{sp}$ : ángulo horario de salida o puesta del sol para altura solar igual a 0 (°);

n: el número del día en que la radiación diaria se considera, igual a la media del mes.

Estimación de la Irradiación sobre superficie inclinada  
Las ecuaciones para determinar la irradiación incidente (Rosas C., M. 2008), son las siguientes:

$$H_{\beta} = H_{dir\beta} + H_{dif\beta} + H_{ref} \tag{11}$$

$$H_{dir\beta} = R (H - H_{dif}) \tag{12}$$

$$H_{dif\beta} = \frac{1}{2} H_{dif} (1 + \cos \cos \beta) \tag{13}$$

$$H_{ref} = \frac{1}{2} H \rho (1 - \cos \cos \beta) \tag{14}$$

$$R = \frac{\cos \cos (\varphi + \beta) \cos \cos \delta \sin \omega_{sp}^* + (\pi / 180) \omega_{sp}^* \sin (\varphi + \beta) \sin \delta}{\cos \cos \varphi \cos \cos \delta \sin \omega_{sp} + (\pi / 180) \omega_{sp} \sin \varphi \sin \delta}$$

$$\omega_{sp}^* = \min \{ \cos^{-1} (- \tan \tan \varphi \delta ), \cos^{-1} [- \tan \tan (\varphi + \beta) \tan \tan \delta ] \} \tag{15, 16}$$

$H_{\beta}$ : media mensual de irradiación global diaria sobre una superficie inclinada;

$H_{dir\beta}$ : media mensual de irradiación directa diaria sobre superficie inclinada;

$H_{dif\beta}$ : media mensual de irradiación difusa diaria sobre una superficie inclinada;

$H_{ref}$ : media mensual de irradiación reflejada diaria sobre una superficie inclinada;

$\beta$ : ángulo de inclinación de la superficie captadora de irradiación solar en grados;

$\rho$ : coeficiente medio de reflectancia (albedo) del suelo, que estima una distribución de la radiación solar reflejada isotrópica;

R: factor de transmisión de la atmósfera, cociente entre la irradiación extraterrestre sobre una superficie inclinada y sobre una superficie horizontal, como si no existiera atmósfera.

$\omega_{sp}^*$ : ángulo horario de salida o puesta del sol para una superficie inclinada.

## Materiales y Métodos

Datos de irradiación global sobre superficie horizontal, para Encarnación

Para una latitud de -27,3° y una longitud de -55,8° que corresponde a la ciudad de Encarnación, se tienen los valores de irradiación para cada mes en la Tabla 1. Estos datos fueron extraídos del software de gestión de energías limpias (RETScreen, 2020)

**Tabla 1.**  
Datos de radiación solar de Encarnación.

Radiación solar diaria - horizontal	
kWh/m <sup>2</sup> /d	
5.94	
5.83	
4.86	
4.03	
3.39	
2.72	
3.17	
3.67	
4.39	
5.42	
6.11	
6.44	
<b>4.66</b>	

Fuente: software (RETScreen, 2020).

Sistematización del cálculo

Primeramente, se determinaron los ángulos óptimos para la captación de energía solar en Encarnación. Posteriormente se calcularon los primeros valores utilizando las ecuaciones trigonométricas de la esfera celeste y las ecuaciones de la irradiación solar terrestre sobre una superficie inclinada. Luego se ajustó el proceso diseñando una herramienta de cálculo. Para inclinaciones diferentes a la óptima también se pueden calcular los valores de irradiación.

Para la máxima captación de energía solar se consideraron; el ángulo azimutal de superficie  $\gamma$  igual a 0 (orientación hacia el norte de la superficie captadora, en el hemisferio Sur); los días característicos mensuales; el mediodía solar (mayor irradiancia); el modelo de Liu y Jordan; un coeficiente de albedo de 0,45 a partir del promedio de superficies oscuras y claras de edificios (Asea Brown Boveri, SA. ABB. 2011).

**Resultados**

Irradiación diaria media mensual obtenible para ángulos notables.

Los ángulos óptimos de inclinación mensuales se hallaron con la ecuación 7. Con los mismos, se determinaron la irradiación global, sus componentes, la ganancia diaria media mensual de energía, la curva de variación de la irradiación y el ajuste de curva con su ecuación. En la Tabla 2 se observan los valores obtenidos.

**Tabla 2.** Irradiación diaria media mensual para Encarnación en función a los ángulos óptimos.

Mes	n	$\delta$	$\beta$ ópt.	H	Hdif	H- $\beta$ ópt.	% Gan.
Ene	17	-21	0	5.94	2.20	5.94	0
Feb	47	-13	0	5.83	2.03	5.83	0
Mar	75	-2	25	4.86	1.79	5.15	6
Abr	105	9	37	4.03	1.46	4.90	22
May	135	19	46	3.39	1.17	4.89	44
Jun	162	23	50	2.72	1.04	4.20	54
Jul	198	21	48	3.17	1.08	4.82	52
Ago	228	13	41	3.67	1.33	4.76	30
Set	258	2	30	4.39	1.65	4.86	11
Oct	288	-10	18	5.42	1.94	5.49	1
Nov	318	-19	0	6.11	2.14	6.11	0
Dic	344	-23	0	6.44	2.21	6.44	0
Med	días		24,5	4,66	1,78	5,28	13
Lat $\phi$	-27,3	grados °		(kWh/m2 día)			

Para ángulos de inclinación óptimos  $\beta$  ópt. se obtuvo una ganancia de energía del 13% (promedio anual) y un 54% más de energía captable en junio (mes de irradiación más baja). El uso estacional con inclinación a 45° de la superficie de captación en los meses de invierno, puede aprovecharse para los sistemas solares térmicos, especialmente.

También se determinaron las magnitudes y curvas correspondientes para un ángulo de 27°, valor absoluto de la latitud de Encarnación, y que es cercano al promedio anual de ángulos óptimos. Además, “si la inclinación es igual a la latitud hace que sean mínimas, durante el año, las variaciones de energía solar captadas debidas a la oscilación de 23,5° de la dirección de los

rayos solares respecto a la perpendicular a la superficie de recogida” (Fernández S; J. M. 2010, p.24). En la Tabla 3 se observan los valores obtenidos.

**Tabla 3.** Irradiación diaria media mensual en Encarnación, inclinación de 27° de la captación.

Mes	n	$\delta$	$\beta$	H	Hdif	H- $\beta$	% Gan.
Ene	17	-21	27	5.94	2.20	5.40	-9
Feb	47	-13	27	5.83	2.03	5.65	-3
Mar	75	-2	27	4.86	1.79	5.15	6
Abr	105	9	27	4.03	1.46	4.79	19
May	135	19	27	3.39	1.17	4.51	33
Jun	162	23	27	2.72	1.04	3.76	38
Jul	198	21	27	3.17	1.08	4.35	37
Ago	228	13	27	3.67	1.33	4.56	24
Set	258	2	27	4.39	1.65	4.85	10
Oct	288	-10	27	5.42	1.94	5.40	0
Nov	318	-19	27	6.11	2.14	5.64	-8
Dic	344	-23	27	6.44	2.21	5.74	-11
Med	días		27	4,66	1,78	4,98	7
Lat $\phi$	-27,3	grados °		(kWh/m2 día)			

Para un ángulo anual de 27° de inclinación se obtuvo una ganancia de energía del 7% y un 38% más de energía captable en junio.

Los valores de irradiación global diaria media anual que se obtuvieron fueron:

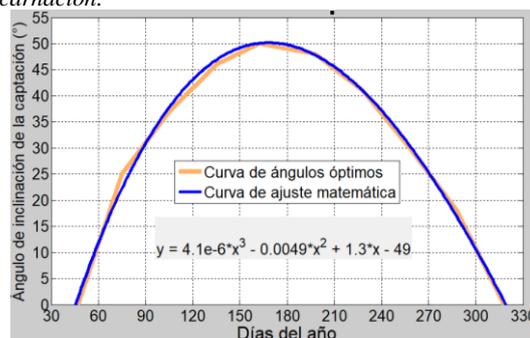
- 4,66 kWh/m²día, para 0° de inclinación.
- 5,28 kWh/m²día, para ángulos óptimos;
- 5,04 kWh/m²día, para 27° de inclinación.

Curva de inclinación diaria óptima de una superficie captadora en Encarnación.

En la Figura 1 puede observarse la curva y el ajuste de los ángulos óptimos para la captación de energía solar. La curva ajustada estableció la ecuación angular diaria de captación óptima, que podría utilizarse para la región centrada en Encarnación. Introduciendo el número del día (x), se podrá obtener el ángulo óptimo (y) de inclinación de la captación, en grados. Notar que, en los meses de noviembre a febrero, la captación óptima prácticamente se obtiene sin inclinación de los colectores solares, por tanto, la ecuación se aplicaría a partir de mediados de febrero hasta mediados de noviembre, ya que se obtendrían valores negativos, para días anteriores a n = 45 y posteriores a n = 338.

$$y = 4,1 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0049x^2 + 1,3x - 49 \quad (17)$$

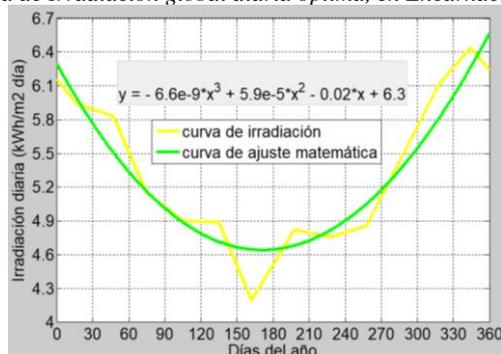
**Figura 1.** Curvas de ángulos óptimos para captación solar, en Encarnación.



Curva de Irradiación Global diaria óptima, en Encarnación.

En la Figura 2 se visualiza la curva de variación de la energía obtenible durante el año, de acuerdo a los ángulos de inclinación óptimos de la superficie captadora.

**Figura 2.**  
Curva de Irradiación global diaria óptima, en Encarnación.



La curva ajustada estableció una ecuación que permite calcular, introduciendo el número del día (x), un valor de la irradiación máxima posible (y).

$$y = -6,6 \cdot 10^{-9}x^3 + 5,9 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,02x + 6,3 \quad (18)$$

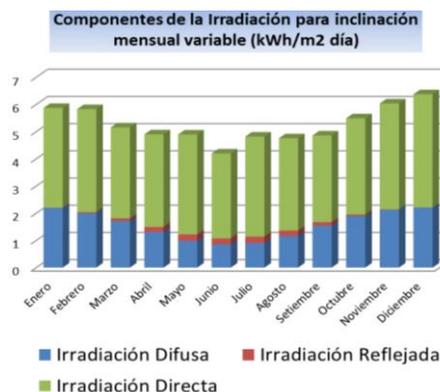
Integrando la ecuación 18, se obtuvo que la energía captable máxima anual en Encarnación y cercanías, sería de 1890 kWh/m². Si la superficie se mantiene en posición horizontal, la energía captable anual sería cercana a 1640 kWh/m², mientras que para una inclinación de 27° se obtendría 1760 kWh/m² aproximadamente. Se establece, por tanto, el siguiente rango de irradiación global captable durante un año, en una región cercana a la ciudad de Encarnación:

$$1640 \frac{kWh}{m^2} \leq H_{\beta} \leq 1890 \frac{kWh}{m^2} \quad (19)$$

Componentes de la irradiación solar

En la Figura 3 se observan los valores de las componentes de irradiación obtenidas para los ángulos óptimos. Se observa la importancia de la irradiación difusa en el aporte energético, que puede llegar hasta cerca de 2 kWh/m² día. La mayor influencia de la irradiación reflejada se nota en los meses más críticos para la captación.

**Figura 3.**  
Componentes de la irradiación para ángulos óptimos, en Encarnación.



### Conclusiones

Se analizó la irradiación solar en Encarnación utilizando un modelo isotrópico, y se obtuvieron curvas de variación mensual de ángulos óptimos y de variación diaria de la energía solar disponible, con sus respectivas ecuaciones, mediante el ajuste a curvas polinomiales. Con las ecuaciones y las curvas se obtuvieron valores diarios, mensuales y anuales de energía solar captable en Encarnación.

Mediante la sistematización del cálculo de ecuaciones trigonométricas de la esfera celeste y de componentes de la irradiación se diseñó una herramienta informática de cálculo, que permitió el análisis para la latitud de estudio. La misma, también permite analizar la irradiación para:

- cualquier latitud;
- cualquier inclinación de la superficie;
- cualquier componente de irradiación;
- y es ajustable para otros modelos de descomposición de la irradiancia solar.

Los valores energéticos obtenidos y obtenibles podrán utilizarse para el dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos y térmicos para generación eléctrica, calentamiento de agua sanitaria e industrial y uso eficiente de la energía.

### Referencias Bibliográficas

Álvarez H., O. H.; Montaña, T.; Quentin, E.; Maldonado, J.; Solano, J. C. (2014). *La radiación solar global en las provincias El Oro, Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. Utilización de datos de reanálisis de la nubosidad diurna*. Revista de Climatología, 14, 25-33. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7416606>

Asea Brown Boveri, SA. (ABB). (2011). *Cuaderno de Aplicaciones Técnicas N° 10. Plantas Fotovoltaicas*. Barcelona. España. Disponible en [https://library.e.abb.com/public/e703d99268365a43c125791f002ce826/1TXA007109G0701\\_CT10.pdf](https://library.e.abb.com/public/e703d99268365a43c125791f002ce826/1TXA007109G0701_CT10.pdf)

Cañada R., J. (2008). *Manual de Energía Solar Térmica. Diseño y cálculo de Instalaciones*. Departamento de

- Termodinámica Aplicada. Universidad Politécnica de Valencia. Editorial UPV. Valencia. España.
- Derouich, W; Besbes, M; Olivencia, J.D. (2014). *Prefeasibility Study of a Solar Power Plant Project and Optimization of a Meteorological Station Performance*. Journal of Applied Research and Technology, 12, 72-79. Disponible en [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-64232014000100007&script=sci\\_abstract&tlng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-64232014000100007&script=sci_abstract&tlng=en)
- Fernández S., J. M. (2010). *Guía completa de la energía solar térmica y termoeléctrica*. España. A. Madrid Vicente, Ediciones.
- Piccioli I.; Laguarda A.; Abal G. (2018). *Transporte de irradiación global horizontal a una superficie inclinada: efecto de la separación directa-difusa*. XVI Congreso Ibérico y XII Congreso Iberoamericano de Energía solar. Madrid, España. Disponible en [https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/21609/1/Paper\\_GTI\\_CIES18.pdf](https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/21609/1/Paper_GTI_CIES18.pdf)
- RETScreen. (9 de enero de 2020). *Maps, tools and publications*. Obtenido de Data analysis software and modelling tools: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465>
- Rosas C., M. (2008). *Recursos Solares. Cátedra UNESCO de Sostenibilidad*. Universidad Politécnica de Catalunya. Módulo de Maestría en Energías Renovables. Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, 19-28.
- Vera M, J.; Mereles, W. (2008). *Caracterización de la Disponibilidad de Recurso Solar para el Dimensionamiento de un Sistema Fotovoltaico Autónomo de Emergencia*. Revista Científica Politécnica. Universidad Nacional del Este, Facultad Politécnica, 90-97. Disponible en <http://servicios.fpune.edu.py:83/fpunescientific/index.php/fpunescientific/article/view/37>