

# Programa Computacional para Obtener los Parámetros Geométricos y de Capacidad de Generación de un Sistema Solar Fotovoltaico

H. Canseco-García, E. Campero-Littlewood, J. Jiménez-González, I. López-García, F. González-Montañez, V. M. Jiménez-Mondragón

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.  
Departamento de Energía, Área de Ingeniería Energética y Electromagnética  $\nabla^2$   
Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, D.F, México, 02200.  
[hiramcanseco@gmail.com](mailto:hiramcanseco@gmail.com), [ecl@correo.azc.uam.mx](mailto:ecl@correo.azc.uam.mx)

2015 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://nautilus.uaz.edu.mx/difu100cia>

---

## Resumen

En este trabajo se presenta el desarrollo de un programa computacional (software) elaborado en lenguaje C para calcular los parámetros dimensionales y de generación de un sistema de energía solar fotovoltaico. El programa desarrollado permite estimar la posición del Sol y la energía solar disponible en un sitio de interés, lo que resulta ser un elemento indispensable para evaluar la viabilidad económica de la instalación de un sistema fotovoltaico. Los parámetros pueden obtenerse de manera individual o en conjunto y así facilitar el manejo e interpretación de los resultados. Los modelos paramétricos incluidos en el programa computacional son: ASHRAE, Nijegorodov, Machler y Iqbal, y Liu y Jordan. Estos modelos consideran el movimiento terrestre, los ángulos Tierra-Sol, la radiación solar y la posición geográfica del lugar. Se hace una breve descripción de la estructura, funcionamiento y consideraciones para el manejo del programa. Adicionalmente, se realizaron simulaciones del programa computacional en donde se estimó la radiación solar disponible para el día 3 de Febrero de 2014 en el periodo de 11:20 am hasta las 18:20 pm hora local. Estos resultados se compararon con información de radiación solar que fue proporcionada por el Laboratorio de Energía Solar de la UAM unidad Azcapotzalco.

**Palabras clave:** Energía Solar, Parámetros Energéticos Solares, Parámetros Geométricos Solares, Sistema Solar Fotovoltaico.

---

## 1. Introducción

La energía eléctrica es parte fundamental en la vida cotidiana de las personas y vital en el crecimiento

social y económico de cualquier país [1]. En la actualidad, la creciente demanda energética en el mundo, el impacto que el uso de combustibles fósiles tiene en el medio ambiente y la disminución de sus reservas

han impulsado la búsqueda de fuentes de energía alternativas para satisfacer las necesidades que se tienen hoy día. Las fuentes de energías alternativas son libres, abundantes y cuidadosas con el medio ambiente [2].

En los últimos años el desarrollo de la tecnología de las fuentes de energías alternativas ha sido importante y es claro que seguirá siendo en el futuro [3]. Un ejemplo de ello, es el aprovechamiento de la energía solar para la producción de energía eléctrica.

La energía solar es la energía radiante que llega a la superficie de la Tierra procedente del Sol y que a través de los años ha demostrado ser una fuente de energía alternativa confiable, madura y eficiente. El aprovechamiento de la energía solar para la producción de energía eléctrica se lleva cabo, entre otras formas, mediante sistemas fotovoltaicos [4].

Los sistemas fotovoltaicos utilizan la energía solar para producir energía eléctrica, es por ello que la información sobre la radiación solar es esencial para la implementación de estos sistemas en cualquier lugar. Sin embargo, la disponibilidad de la energía solar en el sitio de interés depende de la hora del día, estación del año, condiciones climatológicas, contaminación y posición geográfica del lugar [5]. Por lo tanto, los parámetros geométricos y de capacidad de la energía solar son variables.

En la actualidad, los modelos paramétricos existentes analizan las características de la energía solar y presentan una estimación de la posición del Sol de acuerdo al sitio de interés, una determinación de la energía solar disponible y una evaluación de la energía eléctrica producida por sistemas fotovoltaicos. Estos modelos manejan gran cantidad de información al ejecutar los cálculos necesarios para llevar a cabo una evaluación energética en un sitio de interés. Afortunadamente, el desarrollo de las computadoras digitales, ha permitido aprovechar la velocidad de procesamiento de información de estos dispositivos para la implementación de los modelos matemáticos. Es por ello que resulta conveniente utilizar programas computacionales para obtener los parámetros geométricos y de capacidad de un sistema solar fotovoltaico de manera correcta, rápida y eficiente.

En este trabajo se presenta un programa computacional elaborado en lenguaje C, para determinar los parámetros geométricos y de capacidad de un sistema solar fotovoltaico en cualquier sitio y hora. En primer lugar, se presentan los modelos paramétricos implementados, los cuales involucran el movimiento terrestre, los ángulos de relación Tierra-Sol y la radiación solar. Después, se describe el programa computacional así como la información necesaria para su ejecución. Por

último, se presetan las simulaciones que se realizaron con el programa.

## 2. Modelos Paramétricos Implementados

El programa computacional elaborado implementa modelos paramétricos que describen la relación geométrica entre un plano con orientación arbitraria y la tierra para cualquier instante. Estos modelos presentan una estimación de la posición relativa del Sol y una determinación de la radiación solar disponible. A continuación se presentan los modelos implementados.

### 2.1. Ángulos Tierra-Sol

*Distancia entre la Tierra y el Sol (d)*: Esta distancia es variable y puede calcularse con la Ecuación (1) [6]:

$$d = d_0 \left\{ 1 + 0.017 \sin \left[ \frac{2\pi(n - 93)}{365} \right] \right\} \quad (1)$$

donde  $n$  es el número exacto del día del año y  $d_0=149.5985 \times 10^6$  Km es la distancia promedio entre el Sol y la Tierra [7].

*Ángulo de declinación ( $\delta$ )*: Formado entre el plano ecuatorial y la línea que une a la Tierra. El ángulo  $\delta$  se calcula con Ecuación (2) [2, 4],[7]-[11]:

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{2\pi(n + 284)}{365} \right] \quad (2)$$

*Ángulo de altitud solar ( $\alpha$ )*: Formado por los rayos Sol y el plano horizontal a la superficie terrestre. Se calcula con la Ecuación (3) [7, 11]:

$$\sin \alpha = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega \quad (3)$$

donde:

$\delta$ : Ángulo de declinación.

$\omega$ : Ángulo horario.

$\phi$ : Latitud del lugar de  $-90^\circ$  a  $90^\circ$ .

$\theta_z$ = Ángulo cenital de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ .

*Ángulo cenital ( $\theta_z$ )*: Formado entre los rayos del sol y la línea perpendicular a los rayos del Sol y el plano horizontal. Este ángulo se calcula con la Ecuación (4) [7]:

$$\cos \theta_z = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega \quad (4)$$

Ángulo horario ( $\omega$ ): Este ángulo es el desplazamiento angular del sol del este al oeste del meridiano local debido a la rotación de la tierra en el eje de 15°/ h. Se calcula con la Ecuación (5) [2, 7, 8]:

$$\omega = (TSV - 12) \left( \frac{15}{h} \right) \quad (5)$$

En la Ecuación (5), el término TSV es el tiempo solar verdadero, el cual es una medida del tiempo fundamentada en el movimiento aparente del Sol sobre el horizonte del lugar. El TSV puede calcularse con la Ecuación (6) [7]:

$$TSV = TI + ET \pm 4(\Delta L) - C \quad (6)$$

$$ET = 9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B \quad (7)$$

$$B = \frac{360}{364} (n - 81) \quad (8)$$

donde:

TI: Tiempo local.

ET: Ecuación del tiempo (min.).

$\Delta L$ : ( $L_{ST}$ ) - ( $L_l$ ) (si un sitio se encuentra al este del meridiano de Greenwich el signo de 4( $\Delta L$ ) es negativo y si está al oeste el signo es positivo).

$L_{ST}$ : Longitud estándar para el tiempo local de la zona.

$L_l$ : Longitud de la localización del sitio en cuestión.

C: Constante de horario de verano (0 o 60 min.).

Ángulo acimutal solar ( $\gamma_s$ ): Es el ángulo de los rayos del sol medido en el plano horizontal desde el sur para el hemisferio norte o desde el norte para el hemisferio sur. Este ángulo es positivo si la proyección es del este al sur y negativa del oeste a sur desde el punto de vista del hemisferio norte. El ángulo acimutal solar toma los valores entre -180° y 180°. Se calcula con con la Ecuación (9) [9]:

$$\gamma_s = \text{sgn}(\omega) \left| \cos^{-1} \left( \frac{\cos \theta_z \sin \phi - \sin \delta}{\sin \theta_z \cos \phi} \right) \right| \quad (9)$$

Ángulo de puesta de Sol ( $\omega_{puesta}$ ): Es el ángulo del Sol cuando está precisamente en esa posición. El ángulo  $\omega_{puesta}$  se puede calcular con la Ecuación (10) [4],[7]-[9]:

$$\omega_p = \cos^{-1} (-\tan \phi \tan \delta) \quad (10)$$

El Ángulo de salida del Sol ( $\omega_{salida}$ ) se puede calcular con la Ecuación (11):

$$\omega_{salida} = -\omega_p \quad (11)$$

La Hora de puesta del Sol ( $h_{puesta}$ ) dada en TSV se calcula con la Ecuación (12) [7]-[9]:

$$h_{puesta} = 12 + \frac{\omega_{puesta}}{10} \quad (12)$$

La Hora de salida del Sol ( $h_{salida}$ ) dada en TSV se calcula con la Ecuación (13) [7, 8]:

$$h_{salida} = 12 + \frac{\omega_{salida}}{10} \quad (13)$$

La Duración del día ( $N$ ) dada en TSV se calcula con la Ecuación (14) [2, 4],[7]-[11]:

$$N = \frac{2}{15} \cos^{-1} (-\tan \phi \tan \delta) \quad (14)$$

Ángulo de incidencia ( $\theta_i$ ): Es el ángulo que forman los rayos solares y la normal de la superficie en cuestión. De forma general  $\theta_i$  se calcula con la Ecuación (15) [7, 8]:

$$\begin{aligned} \cos \theta_i = & (\cos \phi \cos \beta + \sin \phi \sin \beta \cos \gamma) (\cos \delta \cos \omega) \\ & + (\cos \delta \sin \omega \sin \beta \sin \gamma) \\ & + (\sin \delta) (\sin \phi \cos \beta - \cos \phi \sin \beta \cos \gamma) \end{aligned} \quad (15)$$

donde:

$\beta$ : Ángulo de inclinación Slope.

$\gamma$ : Ángulo Acimut de Superficie.

Ángulo Slope ( $\beta$ ): Se forma entre la superficie plana en estudio y la superficie horizontal. Este ángulo es positivo si la superficie está inclinada hacia el sur y negativo si la superficie está inclinada hacia el norte.

Ángulo acimut de superficie ( $\gamma$ ): Es el ángulo en el plano horizontal, entre la línea sur y la proyección de la normal del plano bajo estudio. Es negativo si la proyección es del este al sur y positivo si va del oeste al sur.

## 2.2. Modelos de Radiación Solar

La radiación solar que llega a la superficie de la Tierra se puede clasificar en dos componentes: Radiación Directa ( $I_b$ ) y Radiación Difusa ( $I_d$ ). La suma de ( $I_b$ ) e

( $I_d$ ) da como resultado la *Radiación Global* ( $I_g$ ) [9]. En un cielo despejado, la magnitud de ( $I_d$ ) depende de la altura solar, transparencia atmosférica y de la cantidad de radiación reflejada por la superficie. Una proporción significativa de ( $I_b$ ) golpea los alrededores y se refleja, por ejemplo, la nieve y las nubes [10].

Por otro lado, el flujo de energía radiante recibido por segundo fuera de la atmósfera en una superficie normal a la dirección de los rayos solares en la distancia media Tierra-Sol es la constante solar  $I_{SC}=1367$  ( $W/m^2$ ). Sin embargo, la irradiación extraterrestre varía debido al movimiento de traslación de la tierra. La intensidad de la irradiación extraterrestre  $I_{EXT}$  medida en un plano normal a la irradiación en cualquier día del año, puede calcularse la Ecuación (16) [9, 10, 12]:

$$I_{ext} = I_{sc} \left[ 1.0 + 0.033 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right] \quad (16)$$

En cualquier punto del tiempo, la *Irradiación Solar* fuera de la atmósfera  $I_0$  incidente en un plano horizontal se calcula con la Ecuación (17) [8]:

$$I_0 = I_{ext} \cos \theta_z \quad (17)$$

Sustituyendo (4) en (17), tenemos que:

$$I_0 = I_{sc} \left[ 1 + 0.033 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right] (\cos \phi \cos \delta \sin \omega + \sin \delta \sin \phi) \quad (18)$$

La *Insolación Extraterrestre* diaria  $H_0$  ( $J/m^2$ ) en el periodo desde la salida hasta la puesta de Sol, en una superficie horizontal, puede calcularse con la Ecuación (19) [9, 10, 12]:

$$H_0 = \frac{24 \times 3600}{\pi} I_{sc} \left[ 1.0 + 0.033 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right] \left[ \cos \phi \cos \delta \sin \omega_p + \left( \frac{2\pi\omega_p}{360} \right) \sin \delta \sin \phi \right] \quad (19)$$

Para obtener un promedio mensual de irradiación extraterrestre en ( $J/m^2$ ), se propone utilizar un día significativo del mes en cuestión [9]. En la Tabla 1, se muestra el día significativo para cada mes.

### 2.2.1. Modelo de ASHRAE, Machler y Iqbal, y Nijegorodov

Es posible estimar la *Irradiación Global* por hora en una superficie horizontal considerando un día despejado. La radiación global se puede calcular con las siguientes Ecuaciones [13]:

Tabla 1. Día significativo para cada mes.

Mes	Día
Enero	17
Febrero	16
Marzo	16
Abril	15
Mayo	15
Junio	11
Julio	17
Agosto	16
Septiembre	15
Octubre	15
Noviembre	14
Diciembre	10

Tabla 2. Constantes A, B y C para el modelo ASHRAE.

Mes	A	B	C
Enero	1230	0.142	0.058
Febrero	1215	0.144	0.060
Marzo	1186	0.156	0.071
Abril	1136	0.180	0.097
Mayo	1104	0.196	0.121
Junio	1088	0.205	0.134
Julio	1085	0.207	0.136
Agosto	1107	0.201	0.122
Septiembre	1152	0.177	0.092
Octubre	1193	0.160	0.073
Noviembre	1221	0.149	0.063
Diciembre	1234	0.142	0.057

$$I_g = I_b + I_d \quad (20)$$

$$I_b = I_N \cos \theta_z \quad (21)$$

$$I_d = CI_N \quad (22)$$

$$I_N = Ae^{\left[ \frac{-B}{\cos \theta_z} \right]} \quad (23)$$

En donde A, B y C son constantes que dependen del modelo paramétrico utilizado. En las Tablas 2,3 y 4, se muestran estas constantes para los modelos ASHRAE [13], Nijegorodov [14] y Machler and Iqbal [15] respectivamente.

Para diferentes condiciones geográficas y climatológicas,  $I_g$  e  $I_b$  se pueden calcular con las Ecuaciones (20) y (21) respectivamente. Sin embargo,  $I_d$  e  $I_N$  se calculan como se muestra a continuación [8, 16]:

$$I_d = \frac{1}{3} (I_{ext} - I_N) \cos \theta_z \quad (24)$$

Tabla 3. Constantes A, B y C para el modelo Nijegorodov.

Mes	A	B	C
Enero	1163	0.177	0.114
Febrero	1151	0.174	0.112
Marzo	1142	0.170	0.110
Abril	1146	0.165	0.105
Mayo	1152	0.162	0.101
Junio	1157	0.160	0.098
Julio	1158	0.159	0.100
Agosto	1152	0.164	0.103
Septiembre	1150	0.167	0.107
Octubre	1156	0.172	0.111
Noviembre	1167	0.174	0.113
Diciembre	1169	0.177	0.115

Tabla 4. Constantes A, B y C para el modelo Machler y Iqbal.

Mes	A	B	C
Enero	1202	0.141	0.103
Febrero	1187	0.142	0.104
Marzo	1164	0.149	0.109
Abril	1130	0.164	0.120
Mayo	1106	0.177	0.130
Junio	1092	0.185	0.137
Julio	1093	0.186	0.138
Agosto	1107	0.182	0.134
Septiembre	1136	0.165	0.121
Octubre	1166	0.152	0.111
Noviembre	1190	0.144	0.106
Diciembre	1204	0.141	0.103

$$I_N = I_{ext} e^{\left[ \frac{-T_R}{(0.9+9.4 \sin(90-\theta_z))} \right]} \quad (25)$$

En donde  $T_R$  es el factor de turbiedad, para condiciones nubladas  $T_R=10$  [2]. En la Tabla (5) se muestran los valores de  $T_R$  para cada mes y región [8].

### 2.2.2. Modelo de Liu y Jordan

La Radiación Global  $I_g$  para una superficie con orientación arbitraria se puede encontrar con las siguientes Ecuaciones [8, 17]:

Tabla 5. Factor de turbiedad para cada mes.

Mes	Zona Montañosa	Tierra Plana	Zona Ciudad
Enero	1.8	2.2	3.1
Febrero	1.9	2.2	3.2
Marzo	2.1	2.5	3.5
Abril	2.2	2.9	3.9
Mayo	2.4	3.2	4.1
Junio	2.7	3.4	4.2
Julio	2.7	3.5	4.3
Agosto	2.7	3.3	4.2
Septiembre	2.5	2.9	3.9
Octubre	2.1	2.6	3.6
Noviembre	1.9	2.3	3.3
Diciembre	1.8	2.2	3.1

$$I_g = I_b R_b + I_d R_d + \rho R_r (I_b + I_d) \quad (26)$$

$$R_b = \frac{\cos \theta_i}{\cos \theta_z} \quad (27)$$

$$R_d = \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (28)$$

$$R_r = \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (29)$$

donde:

$\rho$ : Coeficiente de reflexión del suelo (0.2 para suelo ordinario y 0.6 para suelo cubierto de nieve).

Es importante mencionar que  $I_b$  e  $I_d$  se calculan con las Ecuaciones 21 y 24 respectivamente.

### 3. Descripción del Programa Computacional

En la sección anterior, se describieron los modelos implementados en el programa computacional presentado en este trabajo. El programa cuenta con modelos que permiten calcular la geometría la esencial y los parámetros fundamentales necesarios para el dimensionamiento básico de un sistema fotovoltaico. Cabe señalar que se procuró que la interfaz usuario-computadora fuese lo más flexible e intuitiva posible, de esta manera, se facilita su manejo. La Figura 1 muestra la ventana principal del programa desarrollado.

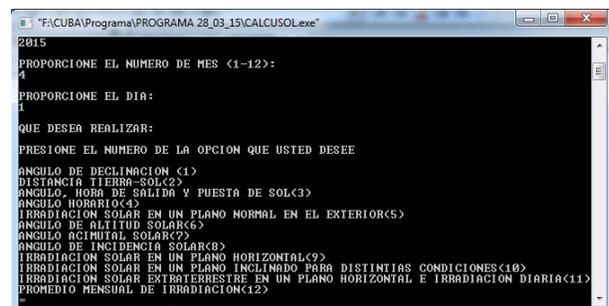


Figura 1. Ventana principal del programa computacional.

Como se muestra en la Figura 1, al ejecutar el programa indicará presionar la tecla (1) para después solicitar la fecha en que desea realizar los cálculos. Todos los resultados son almacenados en archivos .txt ubicados en la carpeta que contiene al programa.

El programa computacional consta de 12 sub-programas, lo que permite realizar los cálculos de manera individual y en conjunto, logrando así, una mejor

interpretación de los resultados. La función e información necesaria para la ejecución de ellos se describe a continuación.

**ANGULO DE DECLINACION:** Calcula el número del día del año ( $n$ ) y el ángulo de declinación ( $\delta$ ) para cualquier fecha y para un año completo. La información necesaria para su ejecución es proporcionar el día, mes y año.

**DISTANCIA TIERRA-SOL:** Calcula la distancia que hay entre la Tierra y el Sol ( $d$ ) para cualquier fecha. La información necesaria para su ejecución es proporcionar el día, mes y año.

**ANGULO, HORA DE SALIDA Y PUESTA DE SOL:** Calcula el ángulo de salida ( $\omega_{salida}$ ) y puesta de sol ( $\omega_{puesta}$ ), la hora de salida ( $h_{salida}$ ) y puesta de sol ( $h_{puesta}$ ) para cualquier sitio y fecha. Además, realiza un estudio de la duración del día  $N$  para distintas fechas y latitudes. La información necesaria para su ejecución es proporcionar el día, mes, año, latitud ( $\phi$ ), longitud estándar ( $L_{ST}$ ) para el tiempo local, longitud de localización del sitio ( $L_l$ ) en cuestión (especificar si se encuentra al este u oeste del meridiano de Greenwich) y la constante de horario de verano ( $C$ ).

**ANGULO HORARIO:** Calcula el ángulo horario ( $\omega$ ) para cualquier sitio y fecha. Además, realiza un estudio de la duración del día  $N$  para distintas fechas y latitudes. La información necesaria para su ejecución es la misma que necesita para el sub-programa **ANGULO, HORA DE SALIDA Y PUESTA DE SOL**.

**IRRADIACION SOLAR EXTRATERRESTRE EN UN PLANO NORMAL:** Calcula la irradiación solar extraterrestre ( $I_{EXT}$ ) para cualquier fecha y para un año completo. La información necesaria para su ejecución es proporcionar el día, mes y año.

**ANGULO ALTITUD SOLAR:** Calcula el ángulo de altitud solar ( $\alpha$ ) para cualquier sitio, hora y fecha. La información necesaria para su ejecución es la misma que necesita para el sub-programa **ANGULO HORARIO**.

**ANGULO ACIMUTAL SOLAR:** Calcula el ángulo de acimutal solar ( $\gamma_S$ ) para cualquier sitio y fecha. La información necesaria para su ejecución es proporcionar el día, mes y año. La información necesaria para su ejecución es la misma que necesita para el sub-programa **ANGULO HORARIO**.

**ANGULO DE INCIDENCIA SOLAR:** Calcula el ángulo de incidencia solar ( $\theta_i$ ) para cualquier sitio y fecha. La información necesaria para su ejecución es la misma que necesita para el sub-programa **ANGULO HORARIO** más ángulo Slope ( $\beta$ ) y acimut de superficie ( $\gamma$ ).

**IRRADIACION SOLAR EN UN PLANO HORIZONTAL:** Calcula la irradiación solar en un plano horizontal ( $I_O$ ) utilizando diferentes modelos para cualquier fecha

y realiza un estudio de un día en particular de cualquier mes. La información necesaria para su ejecución es la misma que necesita para el sub-programa **ANGULO HORARIO**.

**IRRADIACION SOLAR EN UN PLANO INCLINADO PARA DISTINTAS CONDICIONES:** Calcula la irradiación solar en un plano inclinado para cualquier fecha, sitio, distintas condiciones climatológicas y realiza un estudio para cualquier mes en cuestión. La información necesaria para su ejecución es la misma que necesita para el sub-programa **ANGULO DE INCIDENCIA SOLAR** más coeficiente de reflexión del suelo ( $\rho$ ).

**IRRADIACION SOLAR EXTRATERRESTRE EN UN PLANO HORIZONTAL E IRRADIACION DIARIA:** Calcula la irradiación solar extraterrestre ( $I_{EXT}$ ) y la insolación diaria ( $H_O$ ) para cualquier fecha, sitio y distintas condiciones climatológicas. La información necesaria para su ejecución es la misma que necesita para el sub-programa **ANGULO HORARIO**.

**PROMEDIO MENSUAL DE IRRADIACION:** Calcula el promedio mensual de irradiación considerando el día efectivo por mes. La información necesaria para su ejecución es proporcionar el día, mes y año.

#### 4. Resultados

En esta sección se presentan las simulaciones de algunos sub-programas del trabajo presentado. Es importante señalar que sólo se realizaron cálculos en conjunto. Además, los resultados fueron almacenados en un archivo con extensión .txt ubicado en la carpeta que contiene al programa principal para después ser graficados.

En la Figura 2 se muestra la variación del ángulo de declinación durante todo un año. Por su parte, la Figura 3 muestra la variación de la radiación terrestre durante todo un año. Estos cálculos se realizaron para un año no bisiesto y el programa implementó las Ecuaciones (2) y (16) respectivamente.

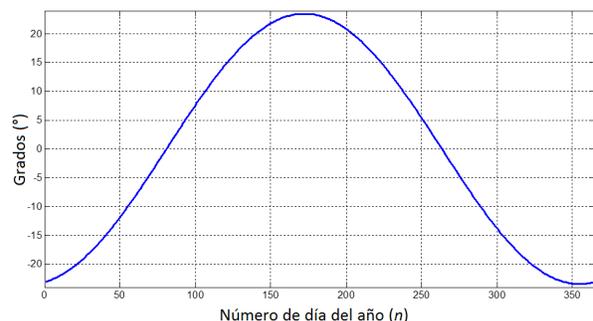


Figura 2. Variación del ángulo de declinación a lo largo del año.

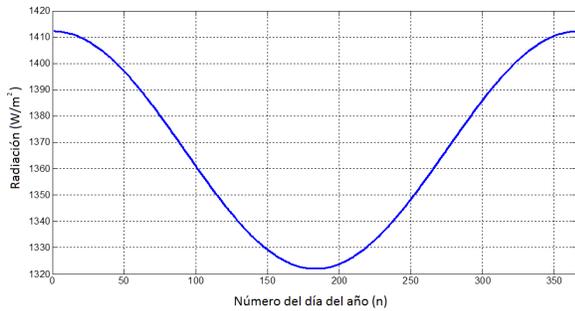


Figura 3. Radiación solar extraterrestre a lo largo del año en un plano normal a los rayos solares.

En la Figura 4 se muestra la variación de la duración del día 21 de cada mes para distintas latitudes. El programa implementó la Ecuación (14).

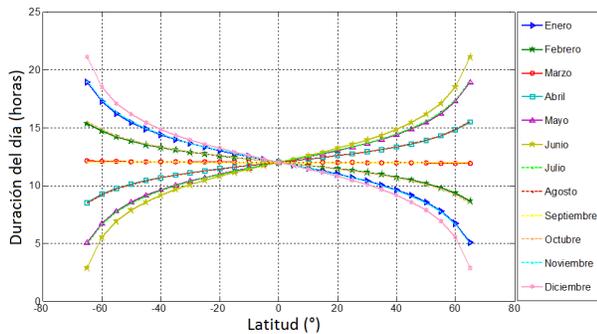


Figura 4. Variación de la duración del día 21 de cada mes para distintas latitudes.

Por otro lado, en la Figura 5 se muestra el promedio mensual diario de irradiación extraterrestre en un plano horizontal ubicado en distintas latitudes para Enero (curva azul), Junio (curva roja) y Diciembre (curva morada). Estos cálculos se realizaron con el programa computacional presentado en este trabajo y se hace una comparación de los resultados obtenidos con la información de Soteris A. Kalogirou obtenida de [7].

Por último, se calculó mediante la simulación del programa computacional, la radiación solar en un plano con un ángulo  $\beta = 10^\circ$ ,  $\gamma = 0^\circ$ , ubicado a una latitud de  $\phi = 19.4333^\circ$  al oeste de meridiano de Greenwich, para el día 3 de Febrero del 2014 desde las 11:20 am hasta las 18:20 pm hora local. Se implementaron los modelos presentados utilizando las constantes para una condición Nublada, Zona Montañosa, Zona Ciudad y Tierra Plana. Los resultados obtenidos se compararon con información de la radiación solar incidente en un plano con las mismas condiciones en que se realizó la simulación, esta comparación se muestra en la Figura 6. La información de radiación solar con la que se compararon

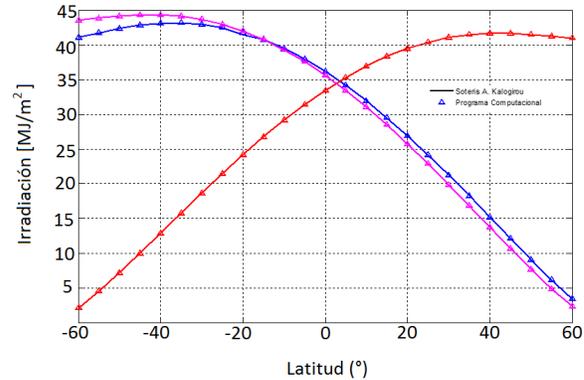


Figura 5. Promedio mensual diario de irradiación extraterrestre en un plano horizontal a distintas latitudes.

los resultados fue proporcionada por el Laboratorio de Energía Solar de la UAM Azcapotzalco, México, DF.

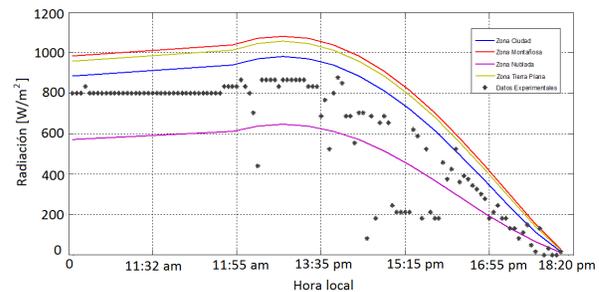


Figura 6. Comparación de la radiación solar con los resultados del programa computacional.

### 5. Conclusiones

En este trabajo se presentó un programa computacional elaborado en lenguaje C, que permite realizar de manera sencilla el cálculo de parámetros geométricos y de capacidad de un sistema solar fotovoltaico de forma individual y en conjunto. Se presentaron los modelos implementados en el programa computacional que permitieron calcular la radiación solar en una superficie horizontal y con orientación arbitraria considerando distintas condiciones climatológicas. Se hizo una breve descripción de funcionamiento del programa y de la información necesaria para su ejecución. Se realizaron simulaciones en el programa computacional y los resultados obtenidos fueron comparados con los trabajos citados y con información de la radiación solar. Estos resultados presentaron gran aproximación de la radiación solar en comparación con la información proporcionada por el Laboratorio de Energía Solar de la UAM, Azcapot-

zalco, sobre todo el modelo paramétrico Zona Ciudad. Por otro lado, la estructura del programa computacional permite anexar fácilmente otros modelos que den una mejor estimación para calcular los parámetros geométricos y de capacidad de un sistema solar fotovoltaico en algún sitio de interés.

El programa computacional aprovechó la velocidad de procesamiento de información de la computadora para la implementación de los modelos paramétricos. De esta manera, se proporcionó una herramienta poderosa para calcular de manera rápida y eficiente la geometría la esencial y los parámetros fundamentales para obtener la información necesaria en la implementación de un sistema fotovoltaico.

Por último, las aplicaciones del programa computacional presentado en este trabajo, abarcan desde realizar un estudio para la implementación de un sistema fotovoltaico hasta su aprovechamiento en la enseñanza de la energía solar. Sin embargo, para el correcto uso del programa computacional presentado y la interpretación adecuada de los resultados, es necesario que el usuario conozca los fundamentos teóricos con los que fue elaborado.

## Referencias

- [1] Knox-Hayes J, Brown MA, Sovacool BK and Wang Y., "Unders-  
tanding attitudes toward energy security: results of a cross-  
national survey". Global Environmental Change 23 (2013) pp.  
609–622.
- [2] Wissem Zghal, Gueorgui Kantchev and Hédi Kchaou, "Determi-  
nation of the exploitable solar energy for electricity generation  
using the photovoltaic systems". First International Conference  
on Renewable Energies and Vehicular Technology, 2012, ISBN:  
978-1-4673-1168-7.
- [3] A. K. Katiyar and C.K. Pandey, "A Review of Solar Radiation  
Models-Part I". Journal of Renewable Energy, Vol. 2013, Nov.  
2012, Article ID 168048, 11 pages.
- [4] José Antonio Carta González et al, "Centrales de energías  
renovables: Generación eléctrica con energías renovables".  
Pearson Education, S.A, Madrid, 2009. ISBN: 978-84-832-  
2227-0, ISBN (UNED): 978-84-362-5878-3.
- [5] Dorin Bică and Dumitru Cristian, "Phovoltaic Laboratory for  
Study of Renewable Solar Energy". Universities Power En-  
gineering Conference, 2008. UPEC 2008. 43rd International,  
E-ISBN:978-88-89884-09-6, ISBN: 978-1-4244-3294-3.
- [6] R. A. M. a. J. Ventre, "Photovoltaic Systems Engineering". 3°  
CRC Press, pp. 12-42, 2010.
- [7] Soteris A. Kalogirou, "Solar Energy Engineering: Processes  
and Systems". 2° Edición, ISBN-13: 978-0-12-397270-5.
- [8] G. N. Tiwari, "Solar Energy: Fundamentals, Design, Mode-  
lling and Applications". Alpha Science Int l Ltd., 2002, ISBN  
1842651064, 9781842651063. .
- [9] Duffie J. A. and Beckman W. A, "Solar Engineering of Thermal  
Processes". 1991, N.Y. USA, John Wiley & Sons.
- [10] Zekai Şen, "Solar Energy Fundamentals and Modeling Techni-  
ques". Atmosphere, Environment, Climate Change and Rene-  
wable Energy, Spginger, pp. 62-63.
- [11] P.I. Cooper, "The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills".  
Solar Energy 12, 1969.
- [12] M. Jamil Ahmad and G.N. Tiwari, "Solar radiation models-  
review". International journal of energy and environment, Vol.  
1, No. 3, pp. 513-532, 2010.
- [13] American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning  
Engineers, "ASHRAE Applications Handbook (SI)". ASHRAE:  
Atlanta, 1999.
- [14] Nijigorodov N., "Improved ASHRAE model to predict hourly  
and daily solar radiation components in Botswana, Namibia,  
and Zimbabwe". IWREC 1996; 1:1270.
- [15] Machler MA and Iqbal M., "A modification of the ASHRAE  
clear sky irradiation model ASHRAE". Transactions 1985;  
91(1a):106.
- [16] Perez R, Ineichen P, Maxwell E, Seals R and Zelenka A., "Dy-  
namic global to direct conversion models. ASHRAE". Transac-  
tions 1990, 98:354–3697.
- [17] Liu, B. Y. H. and R. C. Jordan, "The Long-Term Average Per-  
formance of Flat-Plate Solar Energy Collectors". Solar Energy,  
Vol. 7, No. 2, 1963, pp. 53-74.