

## Estudio de la radiación solar en los equinoccios y solsticios en la Ciudad de la Habana, Cuba

*Study of solar radiation in the equinoxes and solstices in the City of Havana, Cuba*

*Raidel Báez Prieto e Francisco Henrique de Oliveira.*

*Centro de Ciências Humanas e da Educação, Universidade Estadual de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil*

### Resumen

*La radiación solar es de suma importancia para la vida en la tierra y para realizar diferentes de actividades tanto humanas como naturales tal es el caso de los estudios realizados para la agricultura. De manera que este trabajo está encaminado a calcular, a partir de formulaciones, la incidencia de la radiación solar. Se calculará la energía solar en Ciudad de la Habana, Cuba, durante los equinoccios y solsticios, así como la variación que existe durante las diferentes estaciones del año. Se realizó un estudio cada 3 horas: 6am, 9am, 12m, 3pm y 6 pm, (tiempo solar medio) creando de esta manera una tabla con valores reales de esta energía, obteniendo mapas de planos de luz y sombra.*

**Palabras-claves:** *Radiación solar. Equinoccios. Solsticios.*

### Abstract

*Solar radiation is of utmost importance for life on Earth and for performing different human and natural activities, such as the studies carried out for agriculture. The objective of this piece is to calculate, from formulations, the incidence of solar radiation. Solar energy will be calculated in Havana City, Cuba, during the equinoxes and solstices, as well as the variation that exists during the different seasons of the year. A study was carried out every 3 hours: 6am, 9am, 12m, 3pm and 6pm, (average solar time) creating a table with real values of this energy, obtaining maps of light and shadow planes.*

**Keywords:** *Solar radiation. Equinoxes. Solstices.*

## 1 introducción

El sol es asumido como un cuerpo negro esto será que absorbe toda la radiación que es proyectada sobre su superficie. Un estimado de su temperatura efectiva y radiada puede ser obtenida a partir de cálculos, planteando que el flujo de radiación de un cuerpo es directamente proporcional a la cuarta potencia de su temperatura, (ley de Stephan-Boltzmann). La superficie radiativa del Sol, o fotosfera, tiene una temperatura promedio de 5800 K. La cantidad total de energía emitida es  $63 \times 10^6$  W/m<sup>2</sup>. Si la distancia promedio entre el Sol y la Tierra es de  $149,5 \times 10^6$  Km. y la energía radiada se atenúa de forma directamente proporcional al cuadrado de la distancia del emisor, la cantidad de radiación interceptada por los límites externos de la atmósfera se calcula en 1370 W/m<sup>2</sup> aproximadamente. Este valor recibe el nombre de constante solar, sin embargo, la cantidad real de radiación recibida varía de lugar en lugar y día a día de acuerdo a la orientación de la Tierra respecto al Sol (LIOU, 2002).

Los sistemas climáticos, ecosistemas, sistemas hidrológicos, etc., del planeta Tierra derivan su energía de los intercambios de calor entre la tierra y la atmósfera. La mayoría de este calor proviene inicialmente de la absorción de la radiación solar. La cantidad de energía solar recibida, en cualquier región del planeta, varía según los siguientes factores: a) Variación diurna. Se define como el cambio en la temperatura, entre el día y la noche, producido por la rotación de la tierra. b) Variación de la temperatura con la latitud. Es la distribución natural de la temperatura sobre la esfera terrestre debido a que el ángulo de incidencia de los rayos solares varía con la latitud geográfica. c) Variación estacional. Esta característica de la temperatura se debe al hecho que la Tierra circunda al Sol, en su órbita, una vez al año, dando lugar a las cuatro estaciones: verano, otoño, invierno y primavera. Como se sabe, el eje de rotación de la Tierra está inclinado con respecto al plano de su órbita; entonces el ángulo de incidencia de los rayos solares varía, estacionalmente, en forma diferente para ambos hemisferios. Las estaciones son ciclos anuales que dependen de la inclinación de la Tierra respecto a su órbita alrededor del Sol, si esta inclinación de la tierra con respecto al sol fuera nula, el Sol estaría siempre justo encima del ecuador, las noches y los días durarían siempre lo mismo durante todo el año y no existirían las estaciones tal y como las conocemos (SELLERS 1970; JROMOV 1983).

## 2 Objetivo

El objetivo de este trabajo será obtener planos de luz y sombra de iluminación solar a partir de los diferentes cálculos que representan la radiación solar durante los solsticios y equinoccios para Ciudad de La Habana.

## 3 Material y métodos

Para la realización del trabajo fueron utilizadas una serie de ecuaciones que nos ayudaran a describir cómo se comporta la radiación solar en esta ciudad de estudio.

$$Q_s = S \left( \frac{d}{D} \right)^2 \cos Z$$

d= distancias instantáneas de la tierra al sol

D= distancias medias de la tierra al sol

Qs flujo instantáneo de radiación solar a través del área Ah

La cantidad de radiación solar en el tope o parte superior de la atmósfera que realmente incide depende de la época del año, del tiempo del día y la latitud. Si Ah es un elemento de área paralelo a la superficie de la tierra en el tope de la atmósfera y An es la proyección de esta área en el plano normal a los rayos del sol en cualquier instante, así será que:

$$Z = \frac{A_n}{A_h}$$

Z: Angulo zenital del sol (distancia del sol a la vertical local)

$Z = 90^\circ - H$  (la altura) o ángulo horario a través del cual la tierra debe girar para traer el meridiano del punto directamente por debajo del sol y esta altura se obtiene de  $90^\circ - L$  (la latitud geográfica del punto de observación), adicionándole la declina-

ción (Lo), que en los solsticios de verano será positiva y en invierno será negativa respectivamente, y cero los equinoccios.

Esta declinación solar está en función no solo del día del año y esta es aproximadamente independiente de la localización del punto de observación variando desde los 23° con 26' los 21 de junio hasta los menos 23° con 26' los 22 de diciembre, siendo cero los 21 de marzo y 23 de septiembre cuando ocurren los equinoccios y el sol sale exactamente por este y se pone por el oeste es decir la trayectoria del sol coincide con el horizonte. La duración de la iluminación solar será de 6 horas y para cualquier declinación solar dado el ángulo acimut del sol al amanecer será el más aproximado al este del ecuador y parte más y más desde allá con el incremento de la latitud (LIOU, 2002).

En el hemisferio norte durante el invierno el sol se elevará y se pondrá casi aproximado al sur junto a 90° de latitud más la declinación en ambos hemisferios. Durante el verano en el hemisferio norte se elevará y se pondrá aproximado al norte junto a 90° de latitud menos la declinación en ambos hemisferios. En el ecuador el ángulo acimut del sol al amanecer es siempre igual a 90° más la declinación. Estas conclusiones son el resultado de la inclinación del eje de la tierra relativo a su plano de rotación alrededor del sol. En enero el sol está más próximo a la tierra siendo en el hemisferio sur el verano y en el norte el invierno y en julio estará más alejado siendo contrarias las estaciones en los dos hemisferios (LIOU, 2002).

Como parte del estudio vamos a obtener el fotoperíodo o intervalo de tiempo, en horas, que la imagen del Sol está encima del horizonte para iluminar el topo de la atmosfera, así como la radiación global en el topo de la atmosfera (Q) para cada equinoccio y solsticio, observando la diferencia entre cada estación del año de la duración e intensidad de la radiación solar, a partir de las fórmulas:

$$T_{\sigma} = (2/15) \arccos(-\tan \varphi \tan \delta) \quad Q = \frac{S_0}{\pi} \left( \frac{D_s}{D_s} \right)^2 [H \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin H]$$

Se hace un pequeño estudio en cuanto a la intensidad de la radiación solar en superficies con pendientes, considerando primero una pared vertical y representando la intensidad de la radiación solar directa en una superficie normal a los rayos solares o incidencia directa del sol (In), en una superficie horizontal por Q y en una superficie vertical por Q'', siendo Q= In\*cos Z, y Q''= In\* sen Z\* cos (Ao - a)

a- será el acimut terrestre que oscila entre 0 y 360°. Ho-ALTURA Ao-ACIMUT DEL SOL

Zo-ANGULO ZENITAL To-SHA o ANGULO HORARIO

Lo- DECLINACION Ψ- latitud (en ciudad de la habana 23°08')

In= 0,082258499+3,602562\*104 (Mj\*m-2) Según la organización meteorológica mundial en 1990.

Para un estudio más profundo habría que tener en cuenta otras consideraciones en las formulas.

#### 1. Para cualquier punto después de la salida del sol

$$\cos To = (\cos Zo - \sin \psi \sin Lo) / (\cos \psi \cos Lo).$$

$$\cos Ao = (-\cos \psi \sin Lo + \sin \psi * \cos To \cos Lo) / \sin Zo$$

#### 2. Para salida y puesta del sol:

$$\cos Ao = -\sin Lo / \sin (90^\circ - \psi) \quad \cos To = -\tan Lo / \tan (90^\circ - \psi)$$

Así se obtendrá la fórmula que será para encontrar la energía incidente del sol en dicha superficie (Qo), el flujo instantáneo de la radiación solar directa en una superficie con pendiente será Qo=In (cosZcosi+senZsenicos (Ao-a)) i - será el ángulo de la superficie que se desea estudiar que oscila entre 0 y 90°. Estas fórmulas se pueden utilizar teniendo en cuenta que la atmósfera este transparente, no afectando a la radiación solar en su incidencia directa sobre la superficie en estudio. Para la generación de las imágenes o planos de luz y sombra se utilizó el sistema de información geográfico Surfer que en si no se puede considerar un verdadero Sistema de información geográfica porque no dispone de base de datos de atributos para los objetos representados en los mapas, sin embargo tiene un módulo muy potente de análisis geo estadístico para la interpolación espacial.

## 4 Resultados

Según los resultados obtenidos gráfico 1 y tabla 1, en Hemisferio Norte en este caso para La Ciudad de La Habana, los días son más largos que las noches desde el equinoccio de marzo hasta el equinoccio de septiembre. Entre los equinoccios de septiembre a marzo los días son más cortos que las noches. La duración de los días no varía excesivamente de una estación a otra debido a su ubicación próxima a la zona de máxima exposición solar. Se observa también la diferencia en cuanto a la altura representada en cada estación del año, (tabla 1), que va a incidir directamente en los planos de luz y sombra obtenidos en los planos de luz y sombra obtenidos, donde entre el verano (mayor iluminación solar) y los equinoccios no se nota mucha diferencia en el amanecer y la puesta del sol, pero ya con respecto al invierno es muy notable como en lugares donde se tiene mayor inclinación del relieve llega mucha menos radiación, es comprobado al calcular Q. Es notable la diferencia entre las horas de estudio y comprobadas al calcular el fotoperíodo para cada estación del año, (gráfico 1).

Gráfico 1. Representación estereográfica de la trayectoria del Sol con datos calculados para Ciudad de La Habana a partir del fotoperíodo calculado (duración en horas desde la salida hasta puesta del sol y su respectiva altura H en el cielo)

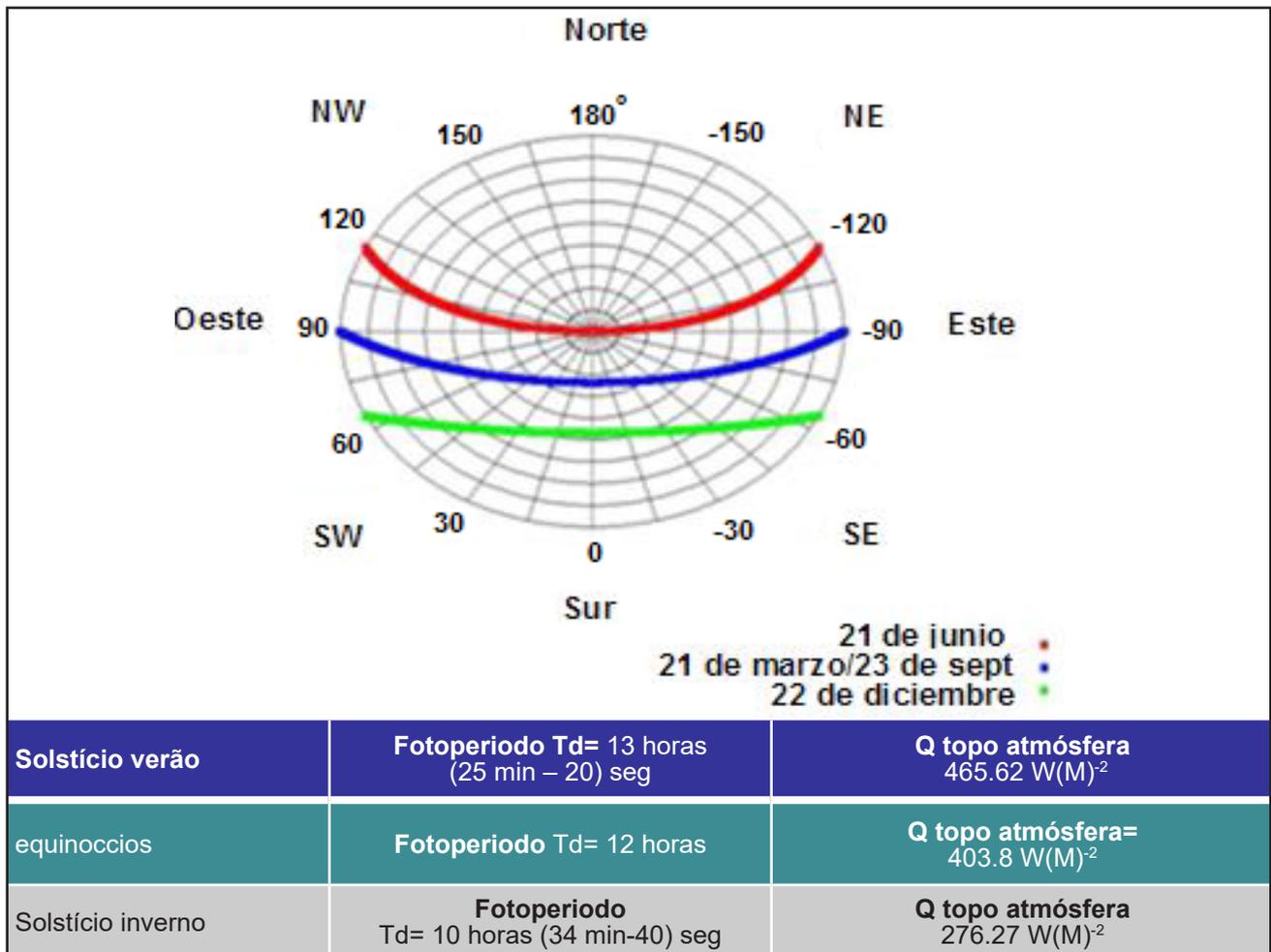
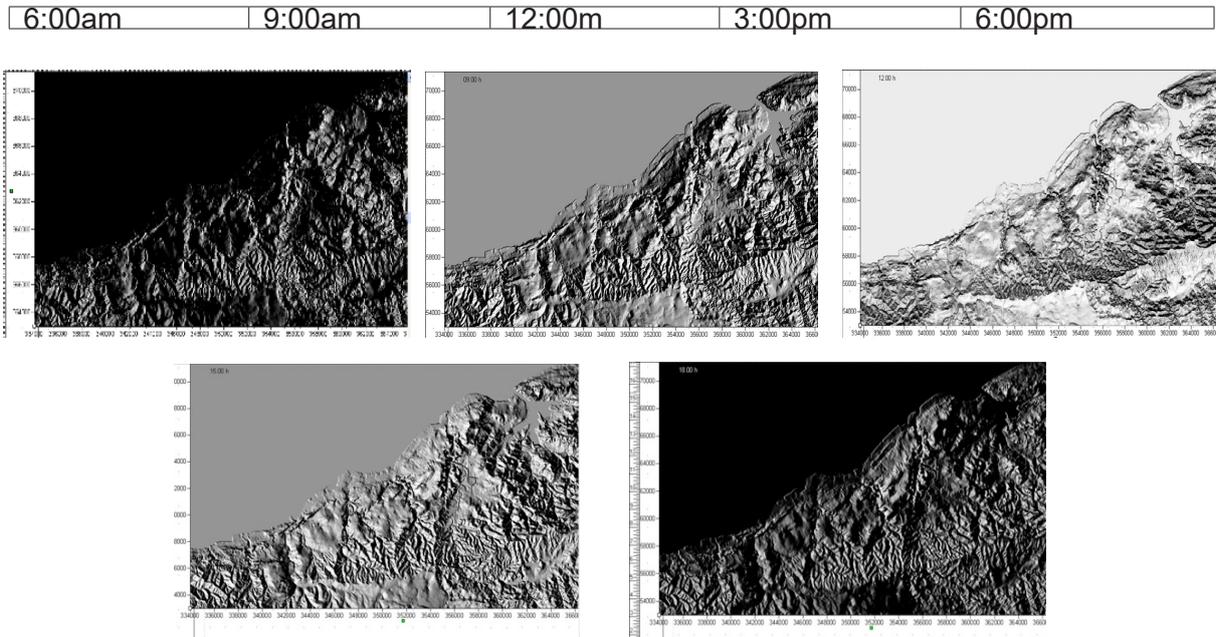


Tabla 1. Datos calculados para Ciudad de La Habana

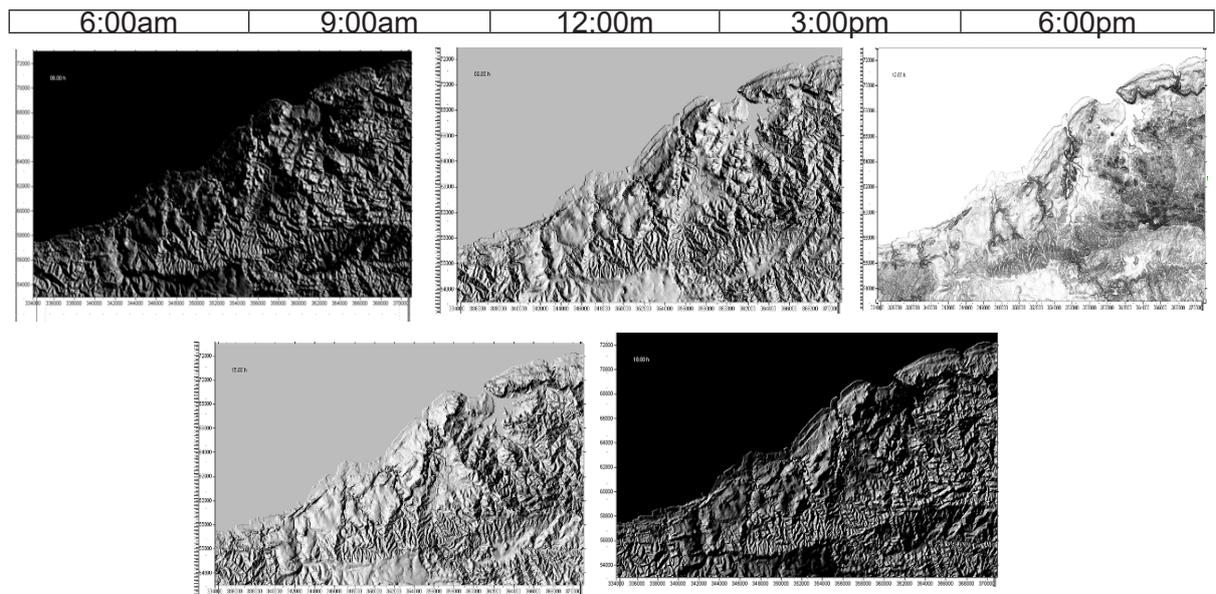
Estaciones:	6:00am	9:00am	12:00m	3:00pm	6:00pm
Latitud-23°08' Longitud-82°20'	H <sub>0</sub> =0°	H <sub>0</sub> =45°09'	H <sub>0</sub> =90°18'	H <sub>0</sub> =45°09'	H <sub>0</sub> =0°
	A <sub>0</sub> =115°	A <sub>0</sub> =100°35'	A <sub>0</sub> =180°	A <sub>0</sub> =259°25'	A <sub>0</sub> =244°
Solstício de verano 21-junio	Z <sub>0</sub> =90°	Z <sub>0</sub> =44°51'	Z <sub>0</sub> =-0°18'	Z <sub>0</sub> =44°51'	Z <sub>0</sub> =90°
	T <sub>0</sub> =100°40'	T <sub>0</sub> =49°09'	T <sub>0</sub> =0°	T <sub>0</sub> =49°09'	T <sub>0</sub> =100°40'
	L <sub>0</sub> =23°26'				
Equinoccios 21-marzo 23-septiembre	H <sub>0</sub> =0°	H <sub>0</sub> =33°26'	H <sub>0</sub> =66°52'	H <sub>0</sub> =33°26'	H <sub>0</sub> =0°
	A <sub>0</sub> =90°	A <sub>0</sub> =73°37'	A <sub>0</sub> =0°	A <sub>0</sub> =286°22'	A <sub>0</sub> =270°
	Z <sub>0</sub> =90°	Z <sub>0</sub> =56°34'	Z <sub>0</sub> =23°08'	Z <sub>0</sub> =56°34'	Z <sub>0</sub> =90°
	T <sub>0</sub> =90°	T <sub>0</sub> =53°12'	T <sub>0</sub> =0°	T <sub>0</sub> =53°12'	T <sub>0</sub> =90°
Solstício de invierno 22-diciembre	L <sub>0</sub> =0°				
	H <sub>0</sub> =0°	H <sub>0</sub> =21°41'	H <sub>0</sub> =43°23'	H <sub>0</sub> =21°41'	H <sub>0</sub> =0°
	A <sub>0</sub> =64°	A <sub>0</sub> =50°30'	A <sub>0</sub> =0°	A <sub>0</sub> =309°29'	A <sub>0</sub> =295°
	Z <sub>0</sub> =90°	Z <sub>0</sub> =68°18'	Z <sub>0</sub> =46°34'	Z <sub>0</sub> =68°18'	Z <sub>0</sub> =90°
	T <sub>0</sub> =79°19'	T <sub>0</sub> =51°34'	T <sub>0</sub> =0°	T <sub>0</sub> =51°34'	T <sub>0</sub> =79°19'
	L <sub>0</sub> =-23°26'				

A partir de la ubicación de Ciudad de La Habana en el centro del eje de coordenadas y utilizando el sistema SURFER, que nos proporciona datos geográfico de esta ciudad de estudio así como mezcla los datos obtenidos de altura, azimut y declinación solar, obtenemos.

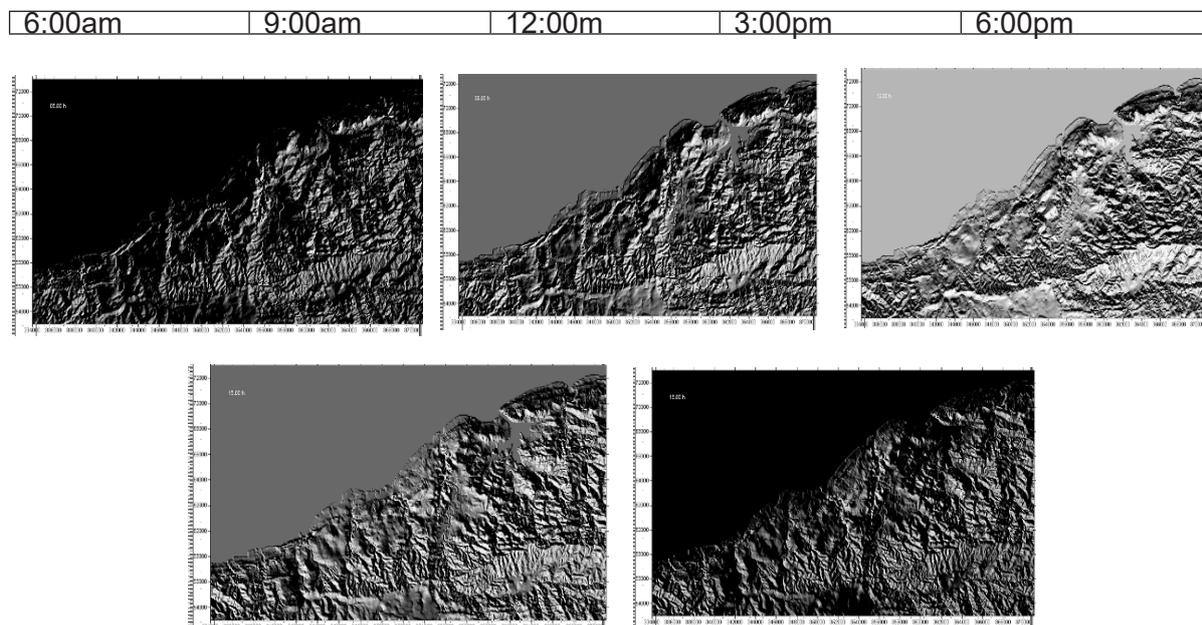
**Planos de iluminación durante los equinoccios en Ciudad de La Habana. De izquierda a derecha los horarios respectivos desde las 6 am hasta las 6 de la tarde.**



**Planos de iluminación durante el verano en Ciudad de La Habana. De izquierda a derecha los horarios respectivos desde las 6 am hasta las 6 de la tarde.**



Planos de iluminación durante el invierno en Ciudad de La Habana. De izquierda a derecha los horarios respectivos desde las 6 am hasta las 6 de la tarde.



## 5 Conclusiones

Se pudo calcular la incidencia de la radiación solar, es decir la energía solar en Ciudad de la Habana durante os equinoccios e solsticios, las diferentes estaciones del año, obteniendo una tabla con valores reales, con valores representativos para analizar las diferencias entre cada estación y obteniendo a partir del Modelo Digital de Elevación o sistema de información geográfica Surfer, planos de luz y sombra cada 3 horas: 6am, 9am, 12m, 3pm y 6 pm, (tiempo solar medio).

Observándose como varía la energía solar las diferentes alturas  $H$  que alcanza el sol en el cielo y con ella la iluminación en superficie a partir de los resultados obtenidos de duración de horas de sol o fotoperiodo y la radiación en el topo de la atmósfera que incide en la superficie en dependencia a la transparencia de la misma para cada estación del año  $Q$ , desde el verano a los equinoccios hasta llegar al invierno donde es menor la misma.

## Agradecimientos

Agradecimientos a revisores, colaboradores.

## Referencias

JROMOV S. P., *Meteorología y Climatología*, Traducido del ruso, URSS Moscú 1983.

SELLERS W. D., *Physical Climatology*, Universidad de Arizona, 1970.

LIOU K. N., An Introduction to Atmospheric Radiation, *International Geophysics*, Academic Press Volume 84, USA 2002.

*Raidel Báez Prieto*

*Estudiante de Doutorado, Centro de Ciências Humanas e da Educação, Universidade Estadual de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil*  
E-mail: raidelbp@gmail.com

**Participação do autor:** revisão bibliográfica, seleção dos dados, análise e cálculos da energia solar, obtenção dos planos de luz e sombra, análise e discussão dos resultados e conclusões.

*Francisco Henrique de Oliveira*

*Professor, Doutor, Centro de Ciências Humanas e da Educação, Universidade  
Estadual de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil*

*E-mail: chico.udesc@gmail.com*

**Participação do autor:** Realizou os ajustes e configurações na formatação final do trabalho, ajudou na obtenção dos resultados finais do trabalho, revisou o texto final (estruturação e redação).





