

ARTÍCULO ORIGINAL

Comportamiento fisiográfico, geográfico y estacional de la insolación en Cuba, 1981-2013**Physiographic, geographic and seasonal behavior of insolation in Cuba, 1981-2013**

Carlos Barceló Pérez,^I Yamile González Sánchez,^I Alina Rivero Valencia,^{II} Pablo Ortiz Bultó^{II}

I Centro de Epidemiología y Salud Ambiental, Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. La Habana, Cuba.

II Instituto de Meteorología. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). La Habana, Cuba.

RESUMEN

Introducción: La insolación se considera un factor de riesgo de afecciones oculares y de la piel.

Objetivo: Describir el comportamiento fisiográfico, geográfico y estacional de la distribución de la insolación en el país en el período 1981-2013, lo que resulta una contribución para esclarecer su posible significado en la salud ambiental.

Métodos: Se compilaron series cronológicas mensuales de insolación de 32 años de extensión en 53 puntos de estudio en el territorio de Cuba.

Resultados: Las series cronológicas de insolación muestran persistencia de primer orden y periodicidad anual en su estructura de frecuencia sin tendencias. La fisiografía del territorio se asocia a la insolación media. Las costas y las llanuras interiores son las que presentan las mayores insolaciones, aunque los gradientes a lo largo del país, en general, son débiles.

Conclusiones: La insolación muestra una similitud de estructura cronológica en todo el territorio. El paisaje geográfico se asocia a los valores de insolación.

Palabras clave: radiación solar; insolación; espectro; persistencia de primer orden; periodicidad.

ABSTRACT

Introduction: Insolation is considered to be a risk factor for eye and skin diseases.

Objective: Describe the geographic (physiographic) and seasonal behavior of the distribution of insolation in the country in the period 1981-2013, thus shedding light on its possible role in environmental health.

Results: Insolation time series show first order persistence and annual periodicity in its frequency structure without tendencies. The physiography of the territory is associated to medium insolation. Coasts and inland plains exhibit the highest insolation values, though gradients are generally weak across the country.

Conclusions: Insolation shows time order similarity across the territory. The geographic landscape is associated to insolation values.

Key words: solar radiation; insolation; spectrum; first order persistence; periodicity.

INTRODUCCIÓN

La vida en el planeta está muy relacionada con la influencia de la radiación del sol de forma general, quizás con excepción de los organismos abisales alrededor de las fumarolas submarinas con entornos ricos en azufre^{1,2} a donde no llega la luz del sol.

La energía que aporta el sol está relacionada con el calentamiento de la atmósfera y además provee la iluminación, que desempeña una función fundamental en el bienestar emocional, y es la responsable de la producción y regeneración hormonal y del ritmo circadiano, induce el ciclo hidrológico y sostiene el proceso de fotosíntesis, que transcurre en 3 etapas, y permite la vida de las plantas con el valor agregado de la renovación del oxígeno,³ esencial para el metabolismo de los organismos aerobios.

La luz del sol, compuesta por una gama de radiaciones electromagnéticas, puede causar efectos positivos y negativos en la salud. Entre los primeros, en los humanos se mencionan la provisión de vitamina D desde la piel expuesta y la fijación de calcio en los huesos; entre los últimos, debido al componente ultravioleta de estas radiaciones, se menciona la aparición de diversos trastornos como el pterigión, las cataratas y el cáncer ocular, así como eritemas, quemaduras y cáncer de piel después de prolongados períodos de exposición.^{4,5} La edad avanzada de los individuos y la urbanización baja y media en los asentamientos humanos parecen ser los factores de riesgo del cáncer de piel.⁶

El sexo, la edad, el nivel educacional y el tipo de piel son factores importantes que modulan el efecto de la exposición al sol.⁷ También se menciona la exposición al sol como riesgo laboral.⁸ Se han realizado campañas de educación para la salud con el objetivo de incentivar la protección contra la excesiva exposición a la radiación solar.⁹

El ozono estratosférico absorbe la banda C del espectro UV ($100 < \lambda < 280$ nm), lo que protege la vida en el planeta y evita la ionización y la oxidación excesivas del tejido biológico expuesto. El debilitamiento de la capa de ozono como consecuencia del cambio global pudiera vincularse a un incremento de las tasas de cáncer cutáneo y de las afecciones visuales.¹⁰ Por todo ello, la exposición a la radiación del sol pudiera considerarse un tema de interés de la salud ambiental.

La insolación u horas de sol constituye una variable refleja de la exposición a la radiación solar, cuyas unidades son el número medio de horas de sol por unidad de tiempo (diarias, anuales). La latitud geográfica constituye, entre otros, un factor que influye en la radiación recibida del sol. En Madrid se reportan 1 882 horas anuales de sol y en Oslo, más al norte, 1 015.¹¹

Desde la insolación puede calcularse la intensidad de la radiación solar. En sitios seleccionados de África se puede observar que la intensidad de la radiación solar es mayor en abril y mayo con valores extremos de 7,5-7,6 kw/m² como media mensual.¹²

En otras regiones del mundo como América del Norte se aprecia que estos son los meses de máxima insolación. La zona central del desierto de Australia puede recibir intensidades mayores que 2 300 kWh/m² como media anual.¹³ El norte de Europa — alta latitud — alcanza intensidades por debajo de 700 kWh/m², en tanto el Oriente Medio supera los 1 900 kWh/m².¹⁴ El suroeste de Norteamérica¹⁵ y parte de la zona desértica de Chile en el Pacífico Suramericano¹⁶ muestran valores en el orden de los 2 600 kWh/m² como promedio anual entre 1999 y 2013. La insolación máxima para La Habana se alcanza en abril y julio con valores mensuales promedio superiores a los 6 kWh/m²/día.¹⁷

Cuba, con predominio del paisaje de sabana, se encuentra en la zona subtropical del hemisferio norte cerca de los 23° de latitud a lo cual se debe la intensidad relativamente elevada de radiación solar. Por este motivo, en este archipiélago es importante caracterizar la insolación y definir sus posibles impactos en la salud humana.

El objetivo de este estudio es describir el comportamiento geográfico (fisiográfico) y temporal de la distribución de la insolación en el país en el período 1981-2013, lo que constituye una contribución para esclarecer su posible significado en la salud ambiental.

MÉTODOS

Diseño

Se realizó un estudio descriptivo que tuvo en cuenta las variables del flujo solar en 53 puntos de la geografía cubana mediante un registro de 32 años de observaciones ininterrumpidas. La información diaria, estratificada por meses para este estudio, permitió elaborar series cronológicas compuestas por 396 artículos para cada estación heliográfica y se consideraron el posicionamiento, la fecha, la insolación y la radiación estimada. El lugar de estudio más occidental fue el cabo San Antonio y el más oriental, Punta de Maisí.

En relación con la secuencia histórica analizada, los puntos de medición se estratificaron según una clasificación basada en la antigua distribución político-administrativa del territorio nacional.

Cuba pertenece al bloque 78 de la Organización Meteorológica Mundial y las mediciones de insolación se realizan fundamentalmente en estaciones meteorológicas de tipo 1 (a 600 km unas de otras), pero las observaciones no provienen de una red geométrica. Se utilizó una base mensual para probar, de forma general, la hipótesis de la existencia de un ruido aleatorio (ruido blanco) en las estaciones heliográficas del país en el período entre enero de 1981 y diciembre de 2013.

La hipótesis anterior no propone que la red de estaciones heliográficas sostenga una representatividad del área geográfica de la anterior división político-administrativa. Tampoco se discute la distribución de la variable insolación en el espacio meso escala (extensión aproximada de 100 km), aunque tentativamente se acepte una interpolación lineal para identificar los territorios de clima solar estudiados.

Instrumentos

Para el estudio se utilizaron heliógrafos universales del tipo Campbell Stokes marca Gu-1 de fabricación rusa. La carta heliográfica es de uso internacional y sus propiedades generales hacen que el registro no se afecte de forma significativa por la humedad. La quemadura (traza) de la carta se produce con una intensidad de la radiación solar directa igual o mayor que 120 kWh/m^2 , y la precisión de 0,1 hora por hora de registro. La intensidad de la traza depende de la altura del sol, de la hora local, de la estación astronómica y del azimut; del grado de transparencia atmosférica a la insolación y también de la topografía, la nubosidad, la bruma o el humo y el tiempo transcurrido después de la salida del sol y antes de la puesta. Lo anteriormente planteado puede provocar una posible desviación del registro hasta unas dos horas después de la salida y antes de la puesta del sol en un día claro. El dato original de insolación se obtuvo diariamente. Los datos primarios fueron suministrados por el Servicio Meteorológico Nacional. Se evaluó la insolación y se calculó la intensidad de la radiación. Para calcular la intensidad de la radiación del sol se utilizó la ecuación de Angstrom (1924).¹⁸

RESULTADOS

El territorio de mayor insolación media fue Las Tunas (llano) y el de menor número de horas de sol, la Gran Piedra (montaña). Diversos territorios costeros tienden a presentar valores algo mayores de insolación, por ejemplo, las ciénagas, que los de otras naturalezas fisiográficas. La insolación, asimismo, es relativamente mayor en zonas de la llanura La Habana-Matanzas y del llano de Camagüey-Las Tunas. El mes de mayor insolación fue abril y el de menor insolación, diciembre. Los puntos de medición en las zonas montañosas tienden a mostrar menor insolación como la Gran Piedra, Topes de Collantes y Pinares de Mayarí. En la información evaluada puede apreciarse al nivel 0,05 que la variable insolación no rechaza, de modo casi unánime, la hipótesis nula de normalidad en los puntos de medición, pero no sucede así con el estimado de intensidad de radiación solar, de acuerdo con el grado de asimetría y el apuntamiento de sus distribuciones de frecuencia.

Comparativamente se puede decir que los meses de mayor radiación cambian entre regiones y países. En Rusia se observa una radiación media de 6,5 kWh/m²/d en junio. En Canadá, 6,3 en julio; en Estados Unidos, 6,4 en agosto; en Brasil, 5,87 en septiembre y en Australia, 7,14 en enero.¹⁹

Un análisis trifactorial completo de la insolación en el conjunto de los puntos de la Red Heliográfica permite apreciar, al unísono, que el ajuste de un modelo lineal univariante según el punto de medición, el año y el mes es estadísticamente significativo al nivel 0,05 tanto en los niveles de factor como en las potencializaciones de primer orden estación-mes y año-mes en algunos casos. La potencialización de segundo orden no resultó significativa.

Debido a que el tiempo constituyó una variable explicativa de la varianza, se evaluaron las series cronológicas de insolación y radiación calculadas mediante los datos de los puntos de la Red Heliográfica y se constató, según la significación de las autorregresiones, la ausencia de tendencia lineal.

No se observan tendencias en las series cronológicas de insolación. Por ende, no se rechaza la percepción de estacionalidad geográfica de las medias según el lugar de estudio. Esto nos posibilita considerar la centralización deseable de las series cronológicas en lo que respecta al análisis del espectro de potencia y así se ejecutó, con remoción de medias, a los fines del desarrollo del autoespectro.

Las autocorrelaciones parciales, reduciendo el posible corrimiento de las autocorrelaciones simples, consiguen reflejar al unísono la presencia de persistencia lineal junto a periodicidades que el autoespectro identifica como esencialmente anuales. También se observan en algunos puntos de estudio periodicidades de 6 y 4 meses e indicios de un ciclo de unos 17-20 meses de periodo. Por tanto, aparentemente, la alternativa que las series cronológicas de los puntos de medición muestra ante el ruido blanco, resulta un proceso autorregresivo de primer orden — ruido rojo— a lo que se superpone un grupo de periodicidades comunes en los sitios en estudio. En consecuencia, encontramos una memoria de orden uno -lo que sucede en un momento "t" es consecuencia de lo ocurrido inmediatamente antes "t-1" más una casualidad- y un grupo de periodicidades reiterativas como alternativa a la casualidad.

Con respecto a la semejanza del orden estructural del conjunto de series cronológicas, la figura 1 muestra el ejemplo del autoespectro de insolación en el punto costero Playa Girón.

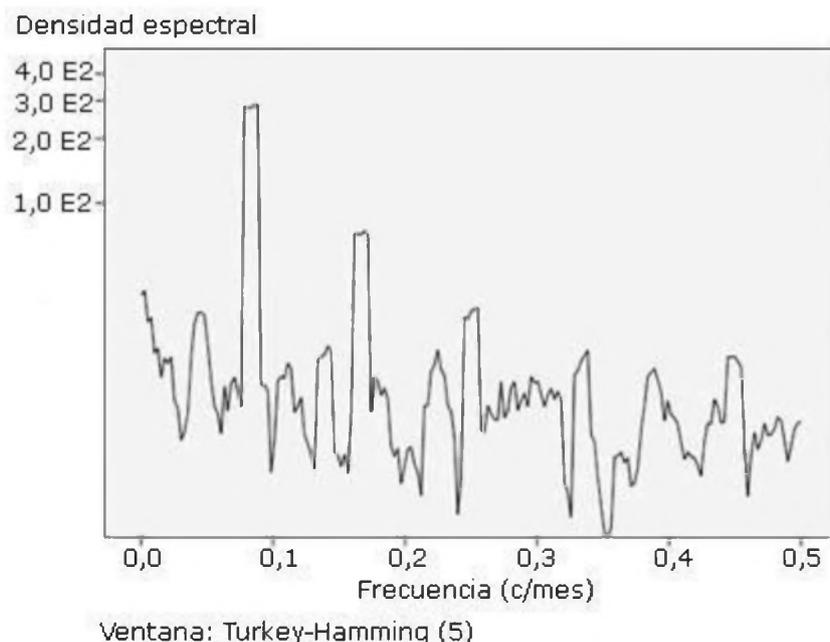


Fig. 1. Densidad espectral de insolación en Playa Girón en la estación 333 de enero de 1981 a diciembre de 2013.

En todos los puntos de medición se obtienen densidades espectrales de notable semejanza. La periodicidad anual podría relacionarse con la oscilación periódica del eje de la tierra respecto al plano de la eclíptica -proceso general- mientras los restantes valores obtenidos pudieran estar influidos por las características de la opacidad atmosférica y la presencia de hidrometeoros incluyendo la cobertura nubosa —proceso climático local—, en particular, nubes potentes o convectivas.

En la tabla se muestran algunos descriptores de la radiación del sol en algunos lugares seleccionados de las provincias de Cuba.

Se aprecia en todos los casos que el máximo de insolación se registra en Cuba en el mes de abril y el mínimo en diciembre.

En la figura 2 se muestran los valores medios de insolación en diferentes zonas de Cuba entre 1981 y 2013. Se observan débiles gradientes de insolación media durante los 32 años de registros en 53 puntos de medición. Se aprecia que los territorios de mayor insolación se localizan en la Ciénaga de Zapata y en las llanuras Las Tunas-Camagüey y Habana-Matanzas. Los puntos de insolación reducida se localizan en las montañas de la Sierra Maestra, la Sierra Cristal, la Sierra del Escambray y la Sierra de los Órganos.

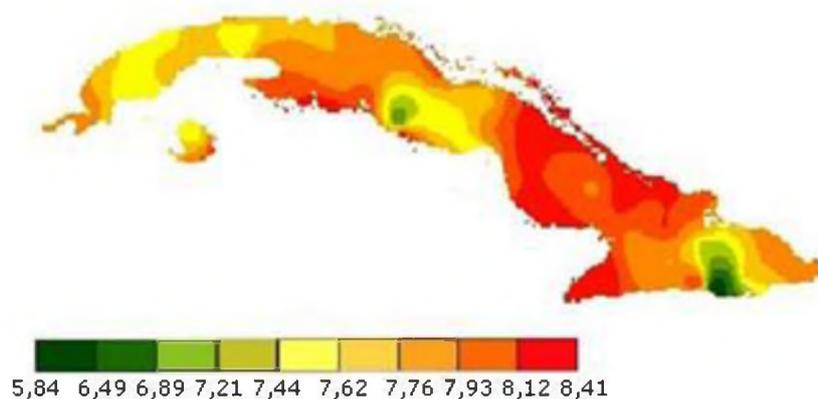


Fig. 2. Insolación solar entre 1981 y 2013.

CONCLUSIONES

No se identifican tendencias en las series cronológicas de insolación en el paisaje geográfico de Cuba, pero se obtuvieron evidencias de un proceso de persistencia mensual de orden uno y periodicidades entre las que se destaca una oscilación generalizada en el período anual (ciclo estacional).

La insolación en el país se distribuye en un rango estrecho de niveles; no obstante, existe cierta variabilidad espacial que denota mayor insolación en el territorio costero, particularmente en la ciénaga y en las llanuras interiores como la de Matanzas y la de Las Tunas-Camagüey.

Conflicto de intereses

Los autores expresan que no existe conflicto de intereses.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. La luz del Sol. [Internet]. [citado 1 Jul 2015]; [aprox. 1 p.]. Disponible en: <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/38/html>
2. Herrero M. La importancia de la luz en nuestro planeta. [Internet]. Prezi; [actualizado 12 de Nov 2014; citado 1 Jul 2015]; [aprox. 3 p.]. Disponible en: <http://www.prezi.com/czvovhuz764s/la-importancia-de-la-luz-en-nuestro-planeta/>
3. Significado de fotosíntesis. Etapas de la fotosíntesis. [Internet]. [citado 1 Jul 2015] Disponible en: <https://www.significados.com/fotosintesis/>

4. Turbert D. The Sun, UV Radiation and Your Eyes. [Internet]. American Academy of Ophthalmology; [actualizado 14 Ago 2014; citado 1 Jul 2015]; [aprox. 3 p.]. Disponible en: <http://www.aao.org/eve-health/tips-prevention/sun>
5. Linetsky M, Raghavan CT, Johar K, Fan X, Monnier VM, Vasavada AR, et al. UVA light-excited kynurenines oxidize ascorbate and modify lens proteins through the formation of advanced glycation end products: implications for human lens aging and cataract formation. Journal of Biological Chemistry [Internet]. 2014 May [citado 1 Jul 2015];19(2):267-73. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1074/jbc.M114.554410>
6. Carey RN, Glass DC, Peters S, Reid A, Benke G, Driscoll TR, et al. Occupational exposure to solar radiation in Australia; who is exposed and what protection do they use? Aust N Z J Public Health [Internet]. 2014 Feb [citado 1 Jul 2015];38(1):[aprox.15 p.]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24494947>
7. Falk M, Anderson CD. Influence of age, gender, educational level and self-estimation of skin type on sun exposure habits and readiness to increase sun protection. Cancer Epidemiol [Internet]. 2013 Apr [citado 1 Jul 2015];37(2):[aprox. 3 p.]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23295002>
8. Rodríguez R, Hechavarría JH, Azze MA. Cáncer de piel y ocupación. Rev. Cubana Me [Internet]. 2001 [citado 1 Jul 2015];40(4):[aprox. 9 p.]. Disponible en: http://www.bvs.sld.cu/revistas/med/vol40_4_01/med05401.htm
9. Sordo C, Gutiérrez C. Cáncer de piel y radiación solar: experiencia peruana en la prevención y detección temprana del cáncer de piel y melanoma. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública [Internet]. 2013 ene [citado 1 Jul 2015];30(1):[aprox. 11 p.]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-46342013000100021script=sci_arttext
10. Sánchez F. Consideraciones sobre la capa de ozono y su relación con el cáncer de piel. Rev Méd Chile [Internet]. 2006[citado 1 de julio de 2015];134:1185-90. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872006000900015>
11. Horas solares por año en distintas ciudades europeas. [citado 1 Jul 2015] Disponible en: <http://www.sapa-solar.com/spain/el%20sol/Horas%20solares%20por%20a%C3%B1o.html>
12. Southern Africa. Global horizontal irradiation. In: GeoModel Solar. [Internet]. SolarGIS © 2015 [Actualizado 1 Jul 2015; citado 1 Jul 2015]. Disponible en: <http://solargis.info/doc/pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Southern-Africa-en.png>
13. Australia. Global Horizontal Irradiation. 2007-12. In: GeoModel Solar. [Internet]. SolarGIS © 2015 [actualizado 1 Jul 2015; citado 1 Jul 2015]. Disponible en: <http://solargis.info/doc/pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Australia-en.png>
14. Europe. Global Horizontal Irradiation. 2004-10. In: GeoModel Solar. [Internet]. SolarGIS © 2015 [actualizado 1 Jul 2015; citado 1 Jul 2015]. Disponible en:

<http://solargis.info/doc/pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Europe-en.png>

15. North America. Global Horizontal Irradiation. 1999-2013. In: GeoModel Solar. [Internet]. SolarGIS © 2015 [actualizado 1 Jul 2015; citado 1 Jul 2015]. Disponible en: <http://solargis.info/doc/pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-North-America-en.png>

16. Latin America and the Caribbean. Global Horizontal Irradiation. 1999-2013. In: GeoModel Solar. [Internet]. SolarGIS © 2015 [actualizado 1 Jul 2015; citado 1 Jul 2015]. Disponible en: <http://solargis.info/doc/pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Latin-America-en.png>

17. Synergy. Enviro-Engineers. Insolation in Havana, Cuba. 2015 [Internet]. [citado 1 Jul 2015]. Disponible en: http://www.synergyenviron.com/tools/solar_insolation.asp?loc=LaHab

18. Angstrom A. Solar and Terrestrial Radiation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 1924; 50: 121, GeoModel Solar. [Internet]. SolarGIS © 2015 [actualizado 1 Jul 2015; citado 1 Jul 2015]. Disponible en: <http://solargis.info/doc/free-solar-radiation-maps-GHI>

19. Green A. The solar insolation levels of 10 largest countries (area wise) in the world. [Internet]. [citado 1 Jul 2015]. Disponible en: <http://www.adityagreens.com/entries/general/the-solar-insolation-levels-of-10>

Recibido: 15 de septiembre de 2016.

Aprobado: 24 de agosto de 2018.

Carlos Barceló Pérez . Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología.
Correo electrónico: barcelo@inhem.sld.cu