

ÍNDICE ULTRAVIOLETA EN BOGOTÁ DURANTE EL FENÓMENO DE LA NIÑA

ULTRAVIOLET INDEX IN BOGOTA DURING THE NIÑA PHENOMENON

Julio González*

Investigador, Fundación Universitaria Los Libertadores

(Recibido: 07/2011. Aceptado: 10/2011)

Resumen

En este documento se presentan los resultados y análisis de una serie de mediciones de radiación ultravioleta solar realizadas en la ciudad de Bogotá. El objetivo fue valorar el riesgo por exposición a la radiación ultravioleta solar (R-UV) a través del índice ultravioleta (UVI) en plena ocurrencia del Fenómeno de la Niña y compararlo con registros de bases de datos históricos disponibles en Bogotá. Las mediciones se realizaron desde Mayo de 2010 hasta Julio de 2011. Dado que se dispuso de un radiómetro del tipo espectral de la serie GUV2511 de Biospherical Instruments con detección en tres líneas de la zona ultravioleta B (UV-B) y tres de la zona ultravioleta A (UV-A), se empleó la metodología "Diffey Dose" para determinar el UVI. Típicamente, los UVI de Bogotá pueden catalogarse entre altos, muy altos y sobre todo, extremadamente altos. Se encontró que efectivamente durante el evento Niña 2010-2011, disminuyeron notoriamente los niveles promedios mensuales de R-UV en Bogotá por ende, lo mismo le ocurre a los promedios mensuales de UVI. Sin embargo, estos resultados no pueden ser interpretados como disminución del riesgo por exposición a la R-UV, ya que de todas formas persistieron días con valores diarios del UVI altos, muy altos

* jucegonza3@hotmail.com

y/o extremos, solo que su frecuencia disminuyó durante dicho periodo. Se concluye que aún en época de eventos Niña y de alta nubosidad, persisten valores extremos del UVI, que implican muy alto riesgo por exposición a la R-UV.

Palabras clave: Índice ultravioleta, UVI, radiación ultravioleta A y B, Dosis Diffey.

Abstract

In this work we present results and their analysis of the measurements of the UV Radiation taken in Bogotá, Colombia, S.A. The aim was to assess the risk due to solar ultraviolet radiation exposure through ultraviolet index (UVI) during the Niña Phenomenon occurrence and to compare it against another available historical database. The measurements were realized from May 2010 through July 2011 with a spectral radiometer of the series GUV2511 Biospherical Instruments, with three sensor lines in the B-ultraviolet zone, and three in the A-ultraviolet zone. Therefore, in order to evaluate UVI, it was applied the "Diffey Dose" methodology. It was found a decrease in the monthly mean of ultraviolet solar radiation in Bogotá and hence in the same monthly UVIs. However, this fact cannot be interpreted as a decrease of the risk by exposure to UVR in Bogotá, because, still persisted very high and extremely high daily UVIs, but with minor frequency. So, in spite of Niña events and high cloudiness in this region, there are both, frequent and extremely high UVI values that represent very high risk to people due to solar ultraviolet radiation exposure.

Keywords: Ultraviolet index, UVI, ultraviolet radiation A and B, Diffey Dose.

Introducción

Con base en el único estudio realizado en Colombia con reporte de promedios mensuales multianuales de la RUV solar [1], fundamentado en mediciones sobre la línea de 305 nm y de unas pocas estaciones dotadas de radiómetros ultravioleta, se concluye

que para las zonas más densamente pobladas, tales promedios se ubican entre 9 y 13 $\mu\text{Wcm}^{-2}\text{nm}^{-1}$. Aunque los niveles reportados son solamente de la línea UV-B de 305 nm, es un indicador muy confiable de que los niveles globales de todo el espectro UV-B + UV-A son muy altos. Esto se corrobora observando los resultados del mismo estudio sobre los promedios mensuales multianuales de la "Diffey Dose" que es equivalente al UVI recomendado por la World Meteorological Organization (WMO) y la World Health Organization (WHO) [2, 3]; se encuentra que para muchas localidades de las zonas más densamente pobladas, los UVI fluctúan a lo largo de los meses del año entre 11 y 15, que son valores que internacionalmente se consideran como extremadamente altos. [4-7] Las mediciones que aquí se reportan, corresponden a una estación de Bogotá entre Mayo de 2010 hasta Julio de 2011, periodo que para Colombia significó soportar uno de los más intensos eventos Niña, acompañado también de una de las más altas precipitaciones e inundaciones históricas. Exceptuando su parte norte, que cubre esencialmente la Guajira, la mayor parte del territorio colombiano se encuentra en la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) que se distingue, entre otras condiciones, por los altos, permanentes y fluctuantes niveles diarios de nubosidad [8, 9], situación que afecta las características de la radiación solar global, la que sin embargo, se mantiene en promedios diarios mensuales (deducidos de series multianuales), aceptablemente altos (entre 4,5 y 6,0 kWh/m²) [1, 10]; por ello, cuando se presenta el Fenómeno de la Niña se superponen los efectos transitorios de éste con los permanentes de la ZCIT. Como la Guajira colombiana no está afectada por la ZCIT, goza de unos promedios diarios mensuales aún mayores (entre 5,5 y 7,0 kWh/m²). Un hecho que es importante destacar y que agrava la alta exposición a la R-UV solar en la Sabana de Bogotá es el de su inevitable exceso ocasionado por la ubicación altitudinal Andina (2600 msnm), ya que varios estudios señalan que por cada mil metros de ascenso sobre el nivel del mar se presenta un aumento de R-UV entre un 8 y un 20% mayor que el que recibe un sitio equivalente a nivel del mar [11, 12]. De la coyuntura aquí anotada surgen varios interrogantes, pero al que se hará énfasis en este trabajo es el de deducir si efectivamente, el Fenómeno de la Niña

amortigua la incidencia de la R-UV, disminuyendo las altas dosis de la misma en beneficio de la salud humana. Esta hipótesis surge debido a que uno de los efectos del Fenómeno de la Niña es el de un aumento leve de la columna total de ozono [13], que supondría una disminución de la R-UV y por consiguiente del UVI. Además, en las zonas de alta cordillera Andina como la Sabana de Bogotá, el Fenómeno de la Niña viene acompañado de un aumento de los niveles de pluviosidad por encima de los máximos históricos típicos lo que supone aumento de la nubosidad [14–16] y por lo mismo, disminución de la radiación solar.

El presente estudio muestra que durante el Evento Niña 2010-2011, aunque se registra disminución del UVI en comparación con lo reportado en el estudio UPME-IDEAM [1], sus valores para Bogotá, se mantienen en el rango de lo clasificado como alto, muy alto y extremadamente alto. Este resultado podría estar reforzando estudios epidemiológicos que muestran una peligrosa tendencia de incremento de los casos de cáncer de piel en Colombia [17].

Se aplicó la metodología de cálculo exclusiva para el radiómetro GUV2511 de Biospherical Instruments, denominada "Diffey Dose" [2, 18]. Además, se tuvieron en cuenta las recomendaciones de la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection [3], en las que indica que el valor de la irradiancia sea el valor máximo del día, obtenido del promedio de las mediciones realizadas en periodos de 5 a 10 minutos, bajo condiciones de mínima variabilidad durante 10 minutos alrededor del mediodía [4]. Esta recomendación es de forzosa aplicación en las condiciones meteorológicas que se presentan en la Sabana de Bogotá. Finalmente, se compararon los promedios mensuales del UVI máximo diario con los reportados por el estudio UPME-IDEAM [1].

Materiales y Métodos

1. El sitio de medición es el Laboratorio de Radiometría Solar ubicado en la terraza de la sede Santander de la Fundación Universitaria Los Libertadores (FULL) en la localidad de Barrios Unidos en Bogotá, a 17 m de altura con respecto al

suelo. Las características del sitio son:

- (a) Ubicación geográfica: latitud: $4^{\circ}40'$ norte; longitud: $-73^{\circ}04'$; altura sobre el nivel del mar: (2608 ± 5) m (datos obtenidos por comparación de varios equipos GPS).
 - (b) Algunas características climáticas: son las típicas de la zona Andina con afectación ocasionada por la ZCIT. Algunas de las variables meteorológicas características en la zona de medición son: la presión barométrica muestra un promedio anual de (750 ± 2) hPa, promedio representativo y típico de la altura sobre el nivel del mar (dato obtenido mediante el sensor de presión atmosférica del mismo Laboratorio). La precipitación mensual normal de Bogotá fluctúa entre 14 mm y 100 mm, aproximadamente, con comportamiento bimodal anual [19], como se observa para el año 2009 en la figura 1. Sin embargo, para el lapso comprendido entre Marzo de 2010 y Junio de 2011 de la figura 1, se observan fluctuaciones mensuales hasta valores máximos de 180 mm, también con comportamiento bimodal anual, lapso que corresponde al evento Niña considerado. El promedio anual de la humedad relativa en la FULL es de 76,2%. La temperatura media anual histórica de Bogotá es de $13,5^{\circ}\text{C}$. La del sitio de medición en FULL es de $13,8^{\circ}\text{C}$.
2. El instrumento utilizado es un radiómetro del tipo *GUV* (por la sigla en idioma Inglés de *Ground Ultraviolet*) de alta velocidad, con referencia 2511 de *Biospherical Instruments Inc.*, y calibración vigente de fecha 28-08-2009, según procedimientos del *National Institute of Standards and Technology (NIST)*. Es un equipo termo-regulado y su diseño es propio para detectar radiación global en los canales monocromáticos de 305 nm, 313 nm, 320 nm, 340 nm, 380 nm y 395 nm, con anchos de banda de 10 nm FWHM. Incluye también un canal de banda ancha para *PAR* (de la sigla en idioma Inglés de

Photosynthetically Active Radiation). El equipo realiza un registro del promedio de cerca de 200 medidas en cada minuto.

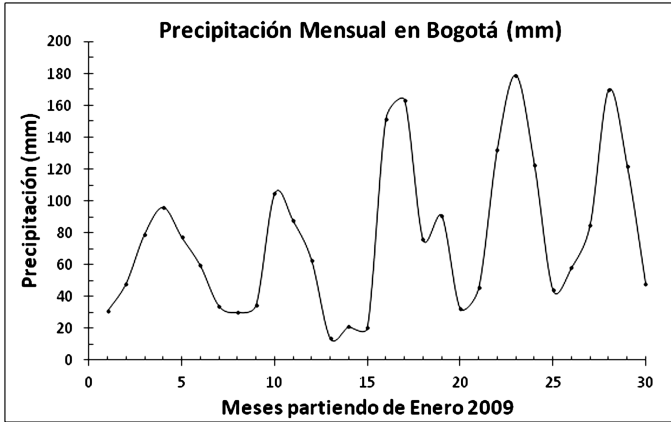


FIGURA 1. *Precipitación Mensual (mm) en Bogotá. Cada punto corresponde a un mes, partiendo de Enero de 2009 y terminando en Junio 2011. La curva se generó con datos tomados de [19].*

3. Cálculo del UVI: dadas las características del GUV-2511 no se puede aplicar la definición internacionalmente aceptada del UVI [3], sino que se aplica la metodología sugerida por Biospherical Instruments Inc. [2]:

$$UVI = I_{305}a_1 + I_{320}a_2 + I_{340}a_3 \quad (1)$$

En la que, I_{305} , I_{320} e I_{340} son las irradiancias ($\mu\text{W}/\text{cm}^2\text{nm}$) correspondientes a las longitudes de onda (en nm) subindicadas y evaluadas según promedio de las mediciones en intervalos de 10 minutos durante cielo despejado, alrededor del mediodía y con la mínima variabilidad posible en las condiciones de Bogotá. Los coeficientes que acompañan a las irradiancias son: $a_1 = 0,8911$; $a_2 = 0,0818$ y $a_3 = 0,007751$, en unidades de ($\text{cm}^2\text{nm}/\mu\text{W}$). El UVI es adimensional.

Puesto que el UVI describe el riesgo de quemadura del Sol, dependiendo de las condiciones atmosféricas y de la posición del Sol, desde el punto de vista experimental, se recomienda

estimar el máximo valor diario que será el determinante del tiempo de exposición a tener en cuenta, en especial para los fototipos de piel más sensibles a la R-UV [4, 5].

Resultados

Aplicando la ecuación 1 a la información registrada diariamente se obtuvieron los datos del UVI que se muestran en la figura 2 y que corresponden a los máximos diarios. Con el propósito de verificar si existe significancia en su comportamiento mensual se muestra en la misma figura 2 una curva de tendencia, que efectivamente sugiere diferenciación mensual. En la tabla 1 se muestra una clasificación mes a mes, desde 11-05-2010 hasta 31-07-2011 de los UVI máximos diarios; se exceptúa el mes de julio de 2010, que por fallas logísticas no fue posible registrar. La clasificación ilustrada se realizó según recomendaciones internacionalmente aceptadas [4, 5] de las categorías de riesgo para eritema y puede observarse que las proporciones más recurrentes corresponden a los niveles alto, muy alto y extremadamente alto, con algunas excepciones asociadas a ciclos mensuales y/o anuales, típicos de la climatología de la Sabana de Bogotá. Esto sugirió la estimación de los promedios mensuales del UVI máximo diario que se muestran en la figura 3.

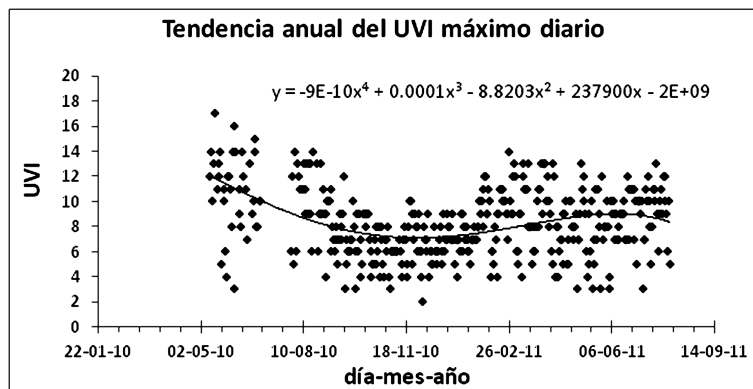


FIGURA 2. Se ilustran los valores del UVI máximo diario obtenidos desde el 11 de Mayo-2010 hasta 31 de Julio de 2011. Hubo una interrupción durante el mes de Julio de 2010. La curva de tendencia solo indica que globalmente los datos tienen una caracterización mensual significativa, pero no pretende dar un comportamiento matemático de tendencia del UVI máximo diario.

Mes	UVI				
	Bajo: 1 y 2 (%)	Moderado: 3, 4 y 5 (%)	Alto: 6 y 7 (%)	Muy Alto: 8, 9 y 10 (%)	Extremo: mayor que 11 (%)
Mayo-2010	0,00	11,76	5,89	11,76	70,59
Junio-2010	0,00	4,76	4,76	42,86	47,62
Agosto-2010	0,00	0,00	12,00	32,00	56,00
Septiembre-2010	0,00	16,67	43,33	33,33	6,67
Octubre-2010	0,00	29,03	32,26	38,71	0,00
Noviembre-2010	0,00	24,14	44,83	31,03	0,00
Diciembre-2010	3,22	19,35	51,62	25,81	0,00
Enero-2011	0,00	9,68	51,61	38,71	0,00
Febrero-2011	0,00	10,71	14,28	46,43	28,58
Marzo-2011	0,00	9,68	12,90	35,48	41,94
Abril-2011	0,00	20,00	20,00	43,33	16,67
Mayo-2011	0,00	19,35	22,58	38,72	19,35
Junio-2011	0,00	10,00	23,33	46,67	20,00
Julio-2011	0,00	6,45	12,90	54,84	25,81

TABLA 1. Clasificación porcentual de ocurrencia de los valores UVI máximo diario durante los meses de medición. La clasificación aplicada es la adoptada internacionalmente como categoría de riesgo para eritema [4, 5].

Con el propósito de comparar los resultados de los promedios mensuales del UVI máximo diario evaluados durante el evento Niña 2010-2011 (figura 3), con los valores promedios históricos, estos se presentan en la figura 4, en la que puede observarse un comportamiento bimodal anual, pero con valores en el rango exclusivamente extremo; en ningún mes se logra bajar a valores siquiera del rango muy alto. Este resultado concuerda con estimaciones globales reportadas por diferentes investigadores [4], antes de aparecer el Atlas Colombiano (2005) [1]. Debe resaltarse que los UVI reportados en el Atlas Colombiano, fueron obtenidos con una red de equipos similares al utilizado en este trabajo, por tanto, la metodología debió ser la misma.

Como es evidente, se reconoce un notable descenso de los UVI promedios mensuales de los máximos diarios durante el Fenómeno de la Niña 2010-2011 (figura 3), con respecto a los valores históricos (figura 4). Así mismo, se reconoce un comportamiento bimodal anual coherente con el comportamiento de la columna total de ozono para Bogotá (figura 5), reportada por NASA para el mismo periodo de tiempo [20]. Es decir, cuando la columna total de ozono aumenta, disminuyen los promedios de los UVI y viceversa.

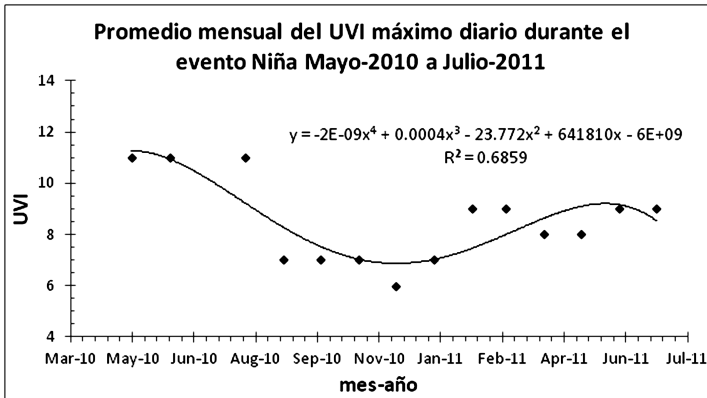


FIGURA 3. Se muestran los puntos correspondientes a los promedios mensuales del UVI máximo diario y la correspondiente curva de tendencia.

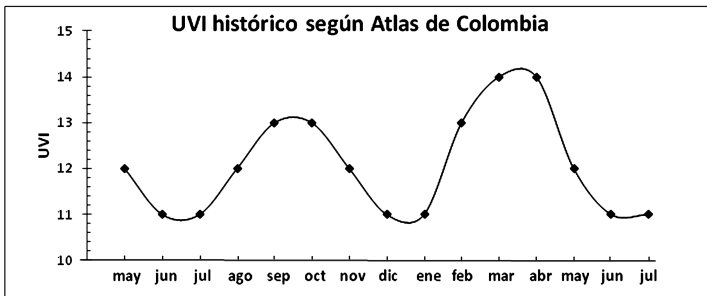


FIGURA 4. Valores históricos de los promedios mensuales multianuales del UVI, según el Atlas de Radiación Solar de Colombia (2005) [1].

Discusión de Resultados y Conclusiones

- Los datos que hacen referencia a la disminución de promedios mensuales del UVI máximo diario durante los eventos Niña, no implica de ninguna manera que en localidades como la Sabana de Bogotá disminuya el riesgo por exposición a la R-UV, puesto que también se evidenció que durante la misma época, persisten frecuencias diarias de UVI en niveles alto, muy alto y extremo. Resultados de estudios epidemiológicos demuestran que continúa la peligrosa tendencia de incremento de los casos de cáncer de piel en Colombia [17].

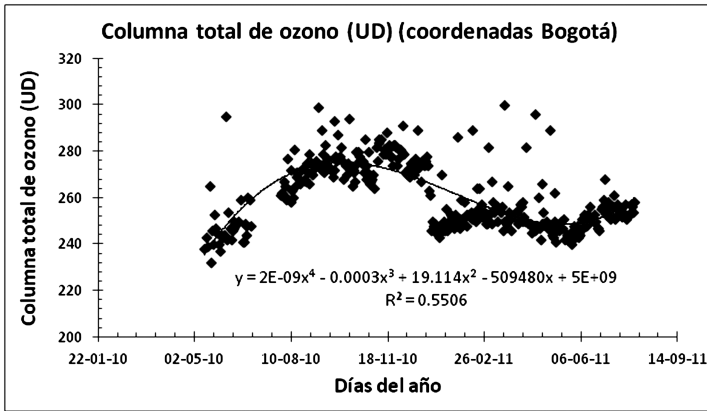


FIGURA 5. Curva de la columna total de ozono (UD) generada a partir de los datos reportados por NASA para las coordenadas geográficas de Bogotá desde Mayo de 2010 hasta 31 de Julio de 2011. [20]

- También se verifica que aún con la nubosidad adicional asociada a la mayor precipitación de lluvia durante el evento Niña, continúan llegando altas irradiancias de UV. Esto refuerza investigaciones que muestran que lo que disminuye es la proporción de la R-UV directa en beneficio de la R-UV difusa, la cual de todas formas llega a la superficie terrestre con sus efectos concomitantes sobre las células vivas [3, 21].
- Si bien es evidente la coherencia en el comportamiento del UVI aquí estimado con la columna total de ozono reportada por NASA [20], es importante realizar más mediciones para verificar este hecho, ya que de todas formas el aumento de la columna total de ozono durante los episodios Niña ronda los 1 y 2%, [13], porcentaje que no permite discernir de manera concluyente la coherencia aquí encontrada.
- Desde el punto de vista puramente estadístico, las curvas de tendencia reportadas solo muestran un comportamiento temporal significativo en el periodo de un año muy particular, pero no una tendencia significativa para ser utilizada en estudios de predicción del UVI.

Agradecimientos

El autor agradece a la Dirección de Investigación de La Fundación Universitaria Los Libertadores por el invaluable apoyo para la ejecución de este proyecto.

References

- [1] *Atlas de radiación solar de Colombia* (UPME, 2005).
- [2] *Application Note: GUV "Diffey Dose" Calculations* (Biospherical Instruments, Inc., 1998) pp. 1–7.
- [3] I. C. on Non-Ionizing Radiation Protection, *Health Phys.* **99** (2010).
- [4] K. Vanicek, T. Frei, Z. Litynska, and A. Schmalwieser, *UV-Index for the Public. Prepared by the group of the COST-713 Action "UVB Forecasting* (UVB Forecasting, 1999).
- [5] I. de Salud Pública Gobierno de Chile, *Informe Técnico Exposición Laboral a la Radiación Ultravioleta de Origen Solar*, Tech. Rep. (Departamento De Salud Ocupacional Y Contaminación Ambiental, 2007).
- [6] L. Vallejo Delgado, *Índice ultravioleta* (Universidad de Antofagasta, Chile, 2003).
- [7] S. Cabrera-Silva, *Radiacion Ultravioleta Y Salud*, Colección Textos universitarios (Editorial Universitaria, 2005).
- [8] P. Aceituno, *Mon. Wea. Rev.* **116**, 505 (1988).
- [9] X. Jiang, C. D. Camp, R. Shia, D. Noone, C. Walker, and Y. L. Yung, *J. Geophys. Res.* **109**, D16305 (2004).
- [10] V. Olgyay, *Clima y arquitectura en Colombia* (Universidad del Valle, Facultad de Arquitectura, 1968).
- [11] M. Rivas A., E. Rojas E., and S. Madronich, *Ingeniare. Rev. chil. ing.* **16**, 383 (2008).
- [12] L. F. Suarez Salas, *Rev. trabajos de investigación. CNDG-Biblioteca Instituto Geofísico del Perú* , 15 (2000).
- [13] J. R. Ziemke and S. Chandra, *Geophys. Res. Lett.* **30** (2003), 10.1029/2002GL016387.

-
- [14] J. D. Pabón and G. Hurtado, in *Memorias del Congreso Mundial de Páramos* (2002) p. 98.
 - [15] V. O. Magaña, J. L. Vázquez, J. L. Pérez, and J. B. Pérez, *Geofis. Int.* **42**, 313 (2003).
 - [16] J. González, *Momento* **42**, 66 (2011).
 - [17] J. Nova-Villanueva, G. Sánchez-Vanegas, and L. Porras de Quintana, *Rev. salud pública* **9**, 595 (2007).
 - [18] G. Bernhard, C. Booth, and J. Ehramjian, *Opt. Eng.* **44**, 041011 (2005).
 - [19] O. A. de Bogotá (OAB), “Observatorio ambiental de bogotá, secretaría del ambiente,” (2011).
 - [20] NASA, “<http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone.html>,” (2010).
 - [21] K. M. Hanson and R. M. Clegg, *Photochem. Photobiol.* **76**, 57 (2002).