

**UNA CARACTERIZACIÓN DE LA RADIACIÓN
SOLAR ULTRAVIOLETA EN BOGOTÁ**

**CHARACTERIZATION OF SOLAR ULTRA-VIOLET
RADIATION IN BOGOTA**

Julio González*

Investigador, Fundación Universitaria Los Libertadores

(Recibido: 06/2011. Aceptado: 06/2011)

Resumen

Con el propósito de evaluar la radiación solar ultravioleta se presenta aquí un criterio para caracterizarla; este criterio se aplicó al caso de la radiación ultravioleta de Bogotá y consistió en evaluar y analizar la relación diaria entre las irradiancias de varias líneas de la zona ultravioleta A con varias de la zona ultravioleta B medidas al mediodía. El comportamiento de dicha relación se comparó con el comportamiento de la columna total de ozono. Las mediciones de las irradiancias se llevaron a cabo desde agosto de 2010 hasta Julio de 2011. Se encontró coherencia entre la variación de la relación y la variación de la columna total de ozono, es decir, cuando se presenta mayor disminución de la radiación ultravioleta B, aumenta la columna total de ozono. Este criterio sugiere que si se dispone de un mayor conocimiento de las interacciones tanto de la radiación UV-A como de la UV-B, con distintos contaminantes atmosféricos, la relación objeto de estudio puede ser utilizada como elemento de análisis del aire, dado que la variación de la columna total de ozono en localidades como Colombia presenta un comportamiento histórico estable.

Palabras claves: Ultravioleta solar A, ultravioleta solar B, columna total de ozono, radiómetro GUV.

* Julio González: jucegonza3@hotmail.com

Abstract

In order to evaluate solar ultraviolet radiation, a criterion to characterize it is presented here; such criterion was applied to the case of solar ultraviolet radiation in Bogotá and it consisted in evaluating and analyzing the daily relation between irradiances from several lines of ultraviolet A zone radiation to the irradiances of several lines of ultraviolet B zone radiation. The behavior of this relation was evaluated every day at noon and compared with the ozone layer behavior during the term from August-2010 to July-2011. It was found that if the relation increases, that is to say, when solar ultraviolet B decreases, so the ozone layer increases. This criterion suggests that with a good knowledge of the interactions among atmospheric contaminants and ultraviolet radiations A and B it is useful element in air analysis, due that total ozone column in sites like Colombia presents a very stable history behavior.

Keywords: Solar ultraviolet A, solar ultraviolet B, ozone total column, GUV radiometer.

Introducción

Dados los comprobados efectos que la radiación solar ultravioleta (RUV) logra en todos los organismos vivos expuestos a ella [1, 2] y en particular sobre los seres humanos [3–5], es importante caracterizar la RUV que llega a la superficie terrestre. Esta caracterización sin embargo, no puede generalizarse a todos los puntos del planeta ya que la irradiancia solar sobre la superficie terrestre depende de una diversidad de factores que van desde los astronómicos, pasando por los atmosféricos hasta los propios de cada localidad; además, se requiere de una instrumentación adecuada dependiendo del tipo de caracterización que se vaya a realizar. En este trabajo se presentan algunos aspectos de las características de la RUV en Bogotá; el primer aspecto tiene que ver con la razón entre las irradiancias de la radiación UV-A con las irradiancias de la radiación UV-B, irradiancias que se midieron en una estación de Bogotá desde Agosto

de 2010 hasta Julio de 2011. El comportamiento espectral del coeficiente de absorción por parte del ozono, tanto de la radiación UV-B, como de la UV-A [6], permiten realizar análisis diferenciales que se evidencian con el estudio de la razón entre estos segmentos espectrales. Esta característica se contrastó con el comportamiento de la columna total de ozono reportada por NASA para la misma época. Se destaca que durante este periodo de tiempo se presentaba en Colombia el fenómeno de la Niña [7, 8], superpuesto a las características de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) [9–11]. En el análisis se tiene en cuenta la evidencia que muestra un aumento de la columna total de ozono durante los eventos Niña [12].

La metodología dependió en gran medida del tipo de instrumento disponible que era un GUV2511 con sensores en seis líneas del rango UV; se adoptó el uso de la razón diaria entre la suma de las irradiancias de tres líneas de la zona UV-A a la suma de las irradiancias de tres líneas de la zona UV-B, para luego analizar el comportamiento de la serie de datos a lo largo de los meses y comparar esta serie con la serie de datos de la columna total de ozono. Se encontró que existe una coherencia en el comportamiento de las dos series, ya que cuando la razón de las irradiancias aumenta, también lo hace la columna total de ozono, lo que puede interpretarse como que si aumenta la razón de las irradiancias UV, es porque disminuye la irradiancia UV-B, lo que es coherente con el hecho de que ésta irradiancia se absorbe más en la columna del ozono que la irradiancia UV-A [13–15].

En la discusión se muestra que es conveniente estudiar en mayor profundidad esta característica de tal manera que se pueda complementar el análisis de su comportamiento con el de otras variables meteorológicas.

Materiales y Métodos

1. El instrumento disponible es un radiómetro del tipo GUV (por la sigla Inglesa de Ground Ultraviolet) de alta velocidad, con referencia 2511 de Biospherical Instruments Inc. Es un equipo termo-regulado que utiliza sensores de radiación global en los canales monocromáticos del UV-B de 305 nm, 313 nm, 320

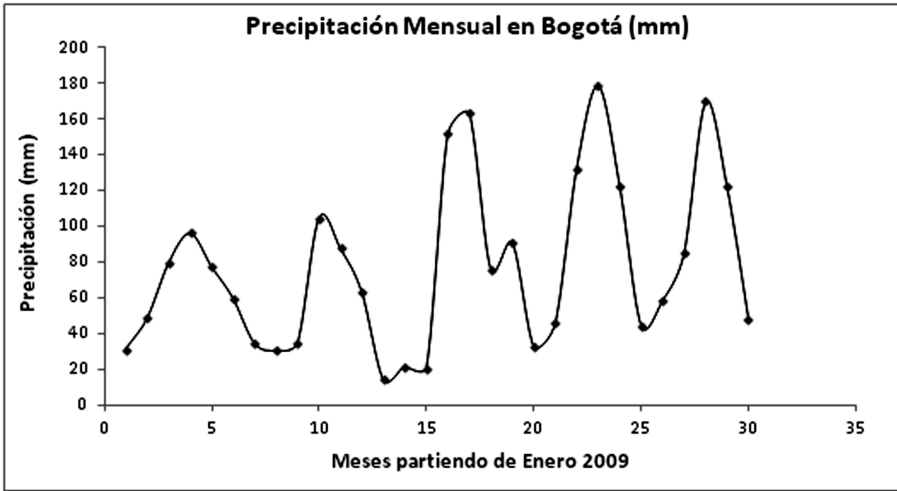


FIGURA 1. *Precipitación Mensual (mm) en Bogotá. Cada punto corresponde a un mes, partiendo de Enero de 2009 y terminando en Junio 2011. La curva se generó con datos tomados de [11].*

nm, y en los del UV-A de 340 nm, 380 nm y 395 nm, todos con anchos de banda de 10 nm FWHM (sigla Inglesa de Full WidthHalfMaximum). Dispone también de un canal de banda ancha para PAR (sigla Inglesa de Photosynthetically Active Radiation). El equipo realiza un registro del promedio de cerca de 200 medidas en cada minuto. Su calibración se realizó en 28-08-2009, según procedimientos del National Institute of Standards and Technology (NIST).

2. El instrumento se halla instalado en el Laboratorio de Radiometría Solar de la Fundación Universitaria Los Libertadores (FULL) en límites de las localidades de Barrios Unidos y Chapinero en Bogotá, cuya ubicación geográfica es: latitud: 4°40' norte; longitud: -73°04'; altura sobre el nivel del mar: (2608 ± 5) m (datos obtenidos mediante equipos GPS).

Como características climáticas se mencionan:

- Bogotá se halla en un altiplano de zona Andina que además está afectado por la ZCIT. Este altiplano contiene a la Sabana de Bogotá cuyo clima muestra algu-

nas homogeneidades, sin excluir diversos microclimas determinados por los pié-de-monte de las montañas que circundan a la Sabana de Bogotá. Por su ubicación altitudinal (2600 msnm aproximadamente), la presión barométrica muestra un promedio anual de (750 ± 2) hPa.

- En periodos normales la precipitación mensual de Bogotá presenta fluctuaciones entre 14 mm y 100 mm aproximadamente, dentro de un comportamiento bimodal anual [11], como se ilustra para el año 2009 en la figura 1, con un primer máximo en los meses de Abril y Mayo y un segundo máximo en los meses de Octubre y Noviembre. En la misma figura se muestran los datos correspondientes al lapso comprendido entre Marzo de 2010 y Junio de 2011 en el cual se presentó el fenómeno de la Niña y se observan fluctuaciones mensuales hasta valores máximos de 180 mm, también con el mismo comportamiento bimodal anual.

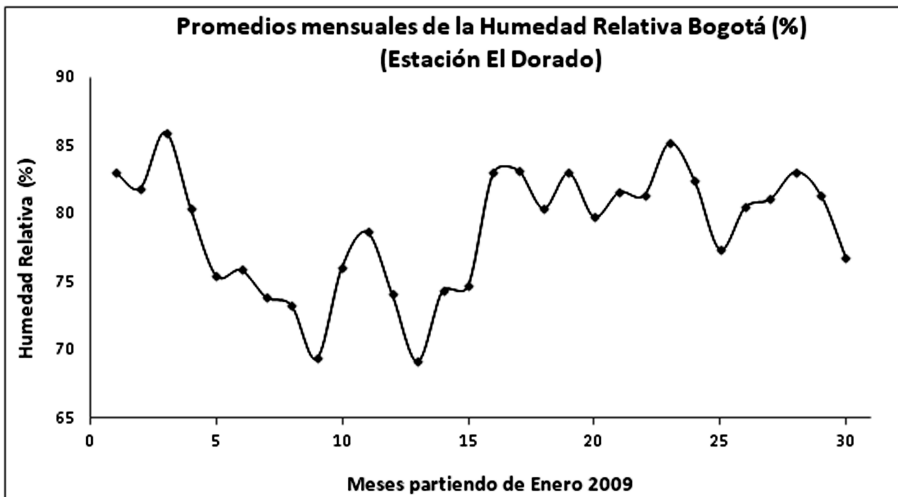


FIGURA 2. Promedios diarios mensuales de la humedad relativa (%) en Bogotá. Cada punto corresponde a un mes, partiendo de Enero de 2009 y terminando en Junio 2011. La curva se generó con datos tomados de (http://www.tutiempo.net/clima/Bogota_Eldorado/802220.htm 2011).

En la figura 2 se presentan los promedios diarios mensuales de la humedad relativa en Bogotá. El promedio anual de la humedad relativa en el sitio del Laboratorio de Radiometría es de 76,2%.

En la figura 3 se observan los promedios diarios mensuales de la temperatura ambiental en Bogotá. La temperatura media anual histórica de Bogotá es de 13,5 °C. La del sitio de medición en FULL es de 13,8°C.

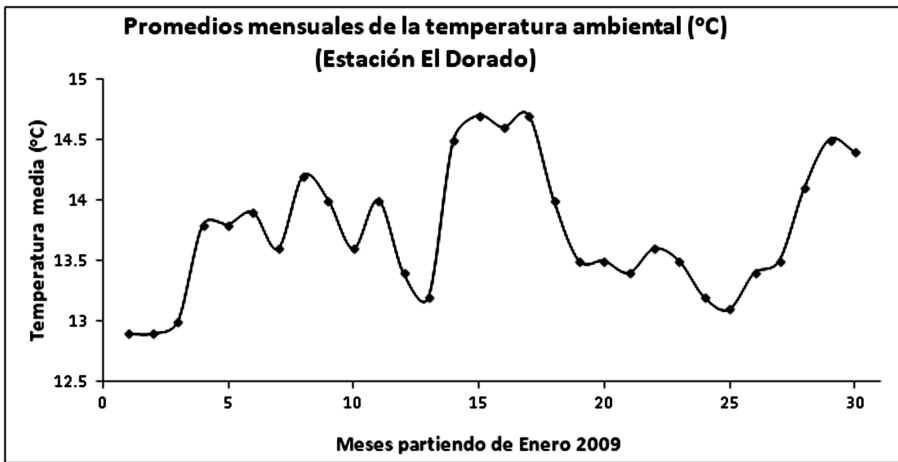


FIGURA 3. Promedios diarios mensuales de la temperatura ambiental (°C) en Bogotá. Cada punto corresponde a un mes, partiendo de Enero de 2009 y terminando en Junio 2011. La curva se generó con datos tomados de (http://www.tutiempo.net/clima/Bogota_Eldorado/802220.htm 2011).

3. El método aplicado consistió en:

- Sumar las irradiancias registradas cada día durante diez minutos alrededor del mediodía de las radiaciones correspondientes de 305, 313 y 320 nm, que corresponden al ultravioleta B:

$$\sum I_{UV-B} = I_{305} + I_{313} + I_{320}. \quad (1)$$

- Sumar las irradiancias registradas cada día durante diez minutos alrededor del mediodía de las radiaciones corre-

spondientes de 340, 380 y 395 nm, que corresponden al ultravioleta A:

$$\sum I_{UV-A} = I_{340} + I_{380} + I_{395}. \quad (2)$$

- Realizar la relación:

$$\left(\sum I_{UV-A}\right)/\left(\sum I_{UV-B}\right). \quad (3)$$

- Analizar la serie de datos de la relación 3, contrastándola con la serie de datos de la columna total de ozono, correspondientes a la misma época de las mediciones aquí reportadas.

Resultados

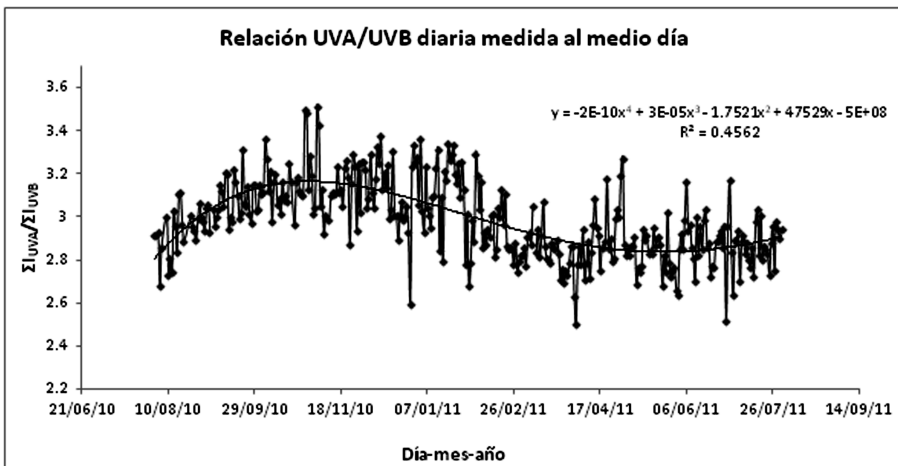


FIGURA 4. Curva generada con los valores de la relación $(\sum I_{UV-A})/(\sum I_{UV-B})$ estimada de las mediciones realizadas en FULL durante el periodo comprendido entre Agosto-2010 y Julio-2011.

En la figura 4 se muestra la relación $(\sum I_{UV-A})/(\sum I_{UV-B})$ diaria medida al mediodía desde Agosto-2010 hasta Julio-2011; se incluye una curva de tendencia que sugiere un comportamiento significativo mensual y se compara con el comportamiento de los correspondientes valores de la columna total de ozono (figura 5) reportados por NASA, cuyo comportamiento es coincidente con el

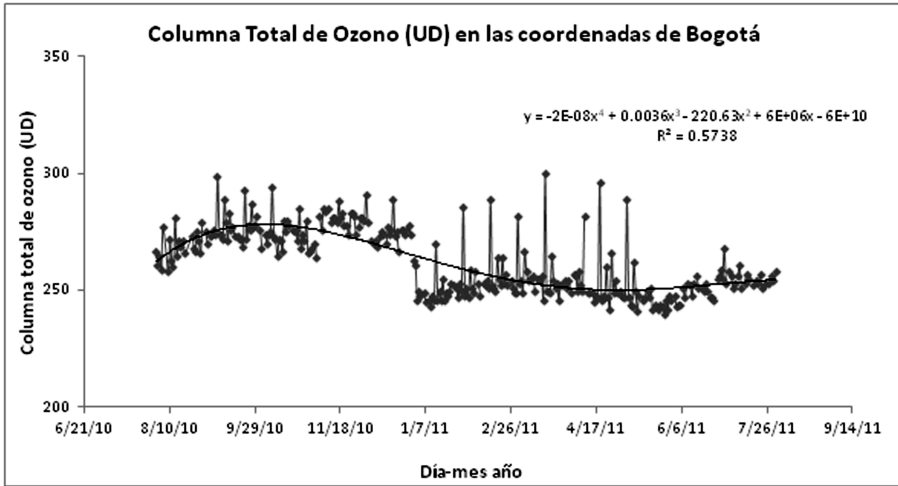


FIGURA 5. Curva generada con los valores de la columna total de ozono diarios reportados por NASA [16] para las coordenadas de Bogotá durante el periodo comprendido entre Agosto-2010 y Julio-2011.

de aquel. La curva de ajuste para la relación entre zonas ultravioleta muestra una mayor dispersión que el ajuste para la columna total de ozono, situación explicable por la mayor influencia de las condiciones atmosféricas sobre la relación de las irradiancias UV.

Discusión de Resultados y Conclusiones

1. Si bien la relación $(\sum I_{UV-A})/(\sum I_{UV-B})$ se ubica entre los extremos de 2,50 y 3,50, el promedio se halla en 2,98 para las condiciones de medición y con el instrumento utilizado. Conviene profundizar este resultado comparándolo con la misma relación a nivel extraterrestre y para las mismas líneas de las irradiancias UV; la relación en este caso tiene un promedio de 1,662 usando los valores reportados y aceptados por la World Meteorological Organization [17]. ¿Cómo actúa la atmósfera para afectar el contraste entre estas relaciones? Mediciones de varios investigadores [13–15] muestran que el rango $UV - B$ es fuertemente absorbido por el ozono, ya que sus coeficientes de absorción están en el rango de 1,9 a 0,2 cm^{-1} para las líneas en cuestión, mientras que el coeficiente de absorción

por el ozono para las líneas del rango $UV - A$ considerado, es menor de $0,005 \text{ cm}^{-1}$. Este hecho es determinante en el contraste de las relaciones estudiadas y refuerza la evidencia de que la variación histórica de la columna total de ozono sea coherente con la variación de la relación analizada.

De otro lado, queda por mejorar el estudio no solo la relación $(\sum I_{UV-A})/(\sum I_{UV-B})$, sino la razón de líneas individuales del rango $UV - A$ con líneas individuales del rango UV-B, en diferentes situaciones de contaminación del aire atmosférico, para poder correlacionar dichas razones con ciertos contaminantes.

2. Las mediciones reportadas en este trabajo fueron realizadas en plena época de Fenómeno de la Niña. ¿Cómo es el comportamiento de la relación en cuestión en época "normal"? El hecho de que predomine la nubosidad afecta la relación entre las componentes de la radiación directa con la difusa, esto es, entre mayor sea la nubosidad mayor es la proporción de la radiación ultravioleta difusa y menor la de la radiación ultravioleta directa. Sin embargo la nubosidad, o mejor, tanto el vapor de agua como el agua, prácticamente no afectan la cantidad total de radiación ultravioleta dado que no la absorben [18, 19].

El instrumento utilizado (GUV2511) mide la radiación total y no distingue entre la radiación directa y la difusa, por lo que se concluye que no debería haber afectación significativa en la relación estudiada.

3. Para examinar el poder del método propuesto, es conveniente estudiar estas relaciones bajo diferentes contaminantes atmosféricos ya que ciertos valores de las mismas podrían ser indicadores de la presencia de algunos contaminantes.

Referencias

- [1] S. Diaz, C. Camilión, G. Deferrari, H. Fuenzalida, R. Armstrong, C. Booth, A. Paladini, S. Cabrera, C. Casiccia,

- C. Lovengreen, J. Pedroni, A. Rosales, H. Zagarese, and M. Vernet, *Photochemistry and Photobiology* **82**, 834 (2006).
- [2] C. Pausz and G. J. Herndl, *Aquat Microb Ecol* **18**, 85 (1999).
- [3] R. H. Grant, G. M. Heisler, and W. Gao, *Photochemistry and Photobiology* **75**, 369 (2002).
- [4] J. C. F. Wong and A. V. Parisi, *Photochemistry and Photobiology* **63**, 807 (1996).
- [5] A. V. Parisi, A. Green, and M. G. Kimlin, *Photochemistry and Photobiology* **73**, 135 (2001).
- [6] J. C. González Navarrete and J. Salamanca, *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* **14**, 151 (2011).
- [7] J. Pabón and G. Hurtado, *Memorias Congreso Mundial de Páramos*, 98 (2002).
- [8] V. O. Magaña, J. L. Vázquez, J. e. L. Pérez, and J. B. Pérez, *Geofísica Internacional* **42**, 313 (2003).
- [9] P. Aceituno, *Mon Wea Rev* **116**, 505 (1988).
- [10] X. Jiang, C. D. Camp, R. Shia, D. Noone, C. Walker, and Y. L. Yung, *J Geophys Res* **109** (2004), 10.1029/2003JD004377.
- [11] OAB, “Observatorio ambiental de bogotá, secretaría del ambiente,” (2011).
- [12] J. R. Ziemke and S. Chandra, *Geophys. Res. Lett.* **30** (2003), 10.1029/2002GL016387.
- [13] W. Komhyr, A. R. L. (U.S.), and W. M. Organization, *Operations Handbook, Ozone Observations with a Dobson Spectrophotometer*, WMO Global Ozone Research and Monitoring Project report (NOAA Environmental Research Laboratories, Air Resources Laboratory, 1980).
- [14] G. Bernhard, C. R. Booth, and J. C. Ehamjian, *Optical Engineering* **44**, 041011 (2005).
- [15] A. C. Murad and H. Tabocchini, *Variaciones del Espesor de la Ozonósfera sobre Buenos Aires y su Relación con las Condiciones Meteorológicas de la Troposfera y la Estratosfera* (1976) p. 48.
- [16] NASA, “<http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone.html>,” (2010).

-
- [17] C. Frohlich, J. London, I. A. of Meteorology, A. P. R. Commission, W. M. Organization, I. C. of Scientific Unions, W. C. R. Programme, and W. J. S. Committee, *Revised Instruction Manual on Radiation Instruments and Measurements*, WCRP publications series No. no. 7 (World Meteorological Organization, 1986).
- [18] R. Goody and J. Walker, “Las atmósferas,” (Omega, 1975) p. 150.
- [19] M. Iqbal, “An introduction to solar radiation,” (Academic Press, 1983) p. 377.