

## APÉNDICE E

### 5. LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA (UV) Y SUS ÍNDICES EN COLOMBIA

Este anexo explica la radiación UV e índices en Colombia tomando la Red Nacional de Radiación; se destaca entre otros la determinación y utilización de los índices y su incidencia sobre el fototipo de la piel.

#### 5.1. Red nacional de estaciones de radiación UV

El Centro Nacional de Radiación Solar cuenta en la actualidad con cinco estaciones de superficie para la vigilancia y monitoreo de la radiación ultravioleta en el país. Cada lugar fue escogido por su posición geográfica representativa, tomando en cuenta las variaciones latitudinales a lo largo del territorio nacional. Las estaciones con su respectiva localización geográfica, se muestra en la Tabla siguiente.

**Tabla 5.1**  
**Estaciones de radiación UV (Red Nacional de Radiación Solar)**

<b>Estación</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altura</b>
Riohacha	11° 32' N	72° 56' W	4 m
Bogotá	04° 42' N	74° 09' W	2.546 m
Pasto	01° 11' N	77° 18' W	2.580 m
Leticia	04° 33' S	69° 23' W	84 m
San Andrés Isla	12° 35' N	81° 42' W	2 m

Los instrumentos instalados en cada una de las estaciones son los espectrorradiómetros ultravioleta Biospherical *GUV-511* con cinco canales de medida distribuidos así:

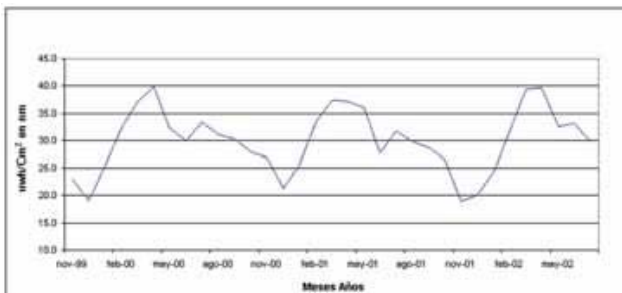
**Tabla 5.2**  
**Canales de Medida GU – 511**

Rango espectral	Longitud de onda ( $\lambda$ )
UV-B	305 nm
UV-B	320 nm
UV-A	340 nm
UV-A	380 nm
PAR	400 - 700 nm

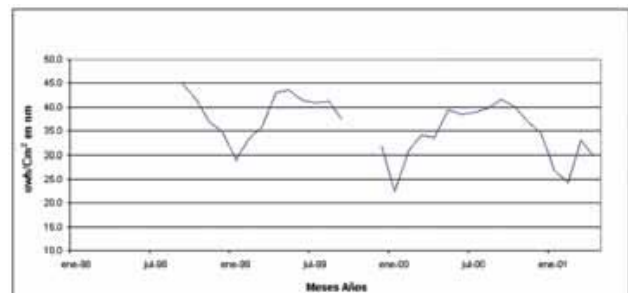
De esta forma se ha monitoreado de manera continua la intensidad de radiación ultravioleta que llega a la superficie, pudiendo tener información que conduzca a la determinación anticipada de la intensidad radiante, con el propósito de evitar exposiciones de la población colombiana a la radiación solar.

Las series históricas para las cinco estaciones en las regiones A y B del espectro ultravioleta han tenido el comportamiento que se observa para la región espectral localizada en 305 nm y en la región espectral de 340 nm; ver Figuras 5.1 y 5.2, respectivamente.

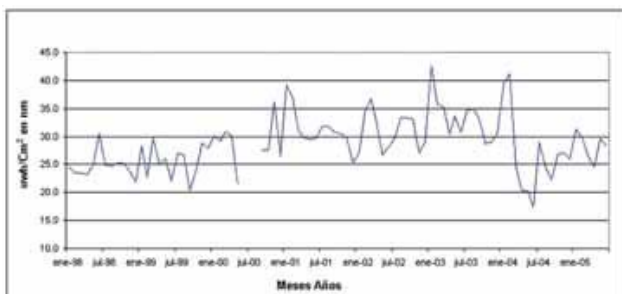
Promedios mensuales de radiación UV en 305 sobre Bogotá



Promedios mensuales de radiación UV en 305 sobre Pasto



Promedios mensuales de radiación UV en 305 sobre Riohacha



Promedios mensuales de radiación UV en 305 sobre San Andrés Islas

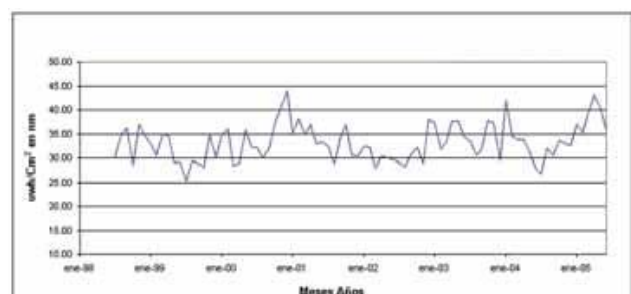
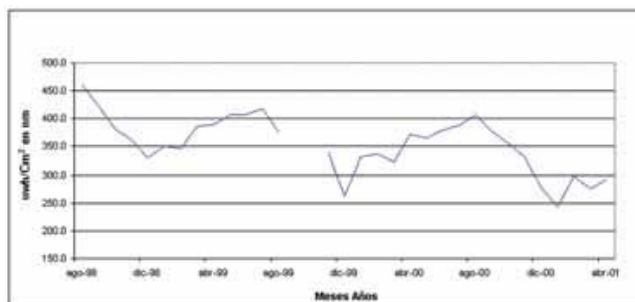
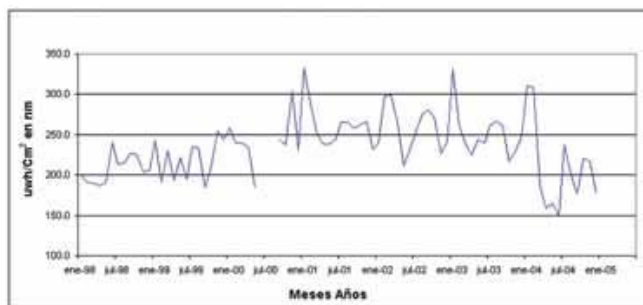


Figura 5.1. Series históricas de irradiancia ultravioleta, bandas espectrales alrededor de 305 nm de longitud de onda, sobre el territorio colombiano.

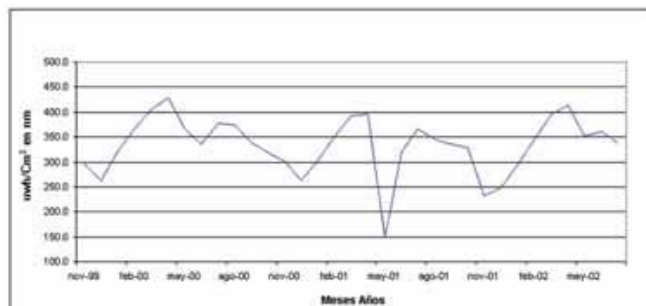
Promedios mensuales de radiación UV en 340 sobre Bogotá



Promedios mensuales de radiación UV en 340 sobre Pasto



Promedios mensuales de radiación UV en 340 sobre Riohacha



Promedios mensuales de radiación UV en 340 sobre San Andrés Islas

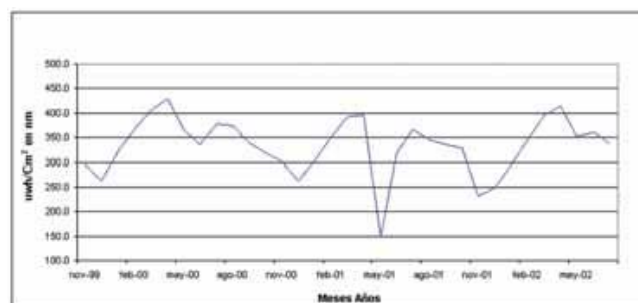


Figura 5.2. Series históricas de irradiancia ultravioleta, bandas espectrales alrededor de 340 nm de longitud de onda, sobre el territorio colombiano.

## 5.2. Índices UV

Los “ÍNDICES UV” son valores adimensionales en una escala de 1 a 15 aproximadamente, que describen la capacidad de la radiación ultravioleta de causar quemaduras o eritemas en la piel (enrojecimiento dentro de las veinticuatro horas siguientes a la exposición) y determinan el tiempo permisible de exposición a la ra-

diación solar, sin riesgos de afección para diferentes tipos de piel. Los índices son indicativos del medio ambiente de gran beneficio para la población, porque proporcionan la información básica para determinar mecanismos de protección contra la radiación solar.

Los índices unificados asociados con los riesgos de exposición a la radiación solar son:

**Tabla 5.3.**  
**Escala de índices, según el riesgo de exposición.**

Escala de índices	Riesgo en nivel de exposición
0-2	Mínimo
3-5	Bajo
6-7	Moderado
7-10	Alto
+10	Muy Alto

## 5.3. Determinación de los índices UV

Los Índices ambientales UV para Colombia se determinan utilizando el modelo de cálculo elaborado por A. F. McKinley y B. L. Diffey en sus investigaciones sobre la exposición humana a la radiación ultravioleta. El modelo determina un valor que los autores denominan “Dosis Diffey” equivalente al índice UV de la EPA. La siguiente es la ecuación de regresión determinada por la compañía Biospherical para determinar la dosis Diffey con base en las medidas de radiancia de tres bandas espectrales:

$$Dg = a_1 E_{305} + a_2 E_{320} + a_3 E_{340} \quad (5.1)$$

donde  $a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$  son los coeficientes de la ecuación multilínea y  $E_{305}$ ,  $E_{320}$ ,  $E_{340}$  son las irradiancias medidas con el espectrorradiómetro Biospherical GUV-511, en las bandas de 305 nm, 320 nm y 340 nm de longitud de onda. Los valores  $Dg$  encontrados con el modelo

fueron correlacionados con los índices de la EPA y arrojaron un factor de correlación  $R^2=0.99925$ , que expresa un excelente grado de correspondencia. El IDEAM aplica este modelo teniendo en consideración que los instrumentos instalados en la red de estaciones UV en el país son del tipo GUV-511, los similares a los utilizados por los investigadores citados, con las mismas bandas espectrales 305, 320 y 340 nm.

## 5.4. Utilización de los índices UV

El conocimiento del índice UV hace posible que la población en general pueda prevenir su comportamiento de acuerdo con el nivel de riesgo que cada rango de valores de índice entraña. Además, con base en el valor del índice UV es posible determinar los tiempos de exposición del ser humano a la radiación ultravioleta de acuerdo con la sensibilidad de la piel. De esta manera se ha categorizado la piel humana en cuatro fototipos, con base en la gradual coloración de la piel como respuesta a la exposición de esta ante la radiación solar. Los tipos de piel se han clasificado en la Tabla 5.4.

**Tabla 5.4. Comportamiento según fototipo de piel**

Símbolo	Fototipos de piel	Variación o cambio general del tipo de piel
A	Nunca se broncea/ siempre se quema	Desarrolla quemaduras, enrojecimiento, dolor, caída de piel
B	Algunas veces se broncea/ usualmente se quema	Desarrolla pecas o coloración roja. Gradualmente desarrolla bronceado
C	Usualmente se broncea/ algunas veces se quema	Muestra una respuesta moderadamente rápida al broncearse.
D	Siempre se broncea/ rara vez se quema	Muestra una respuesta muy rápida al broncearse

De acuerdo con esta clasificación, investigadores médicos han determinado las dosis mínimas necesarias para que cada tipo de piel experimente, dentro de las

siguientes 24 horas a la exposición, enrojecimiento perceptible. Según la Agencia Americana para la protección del medio ambiente los valores de estas dosis son:

**Tabla 5.5. Dosis mínima para producir enrojecimiento según fototipo de piel**

Símbolo	Fototipo de piel	Dosis mínima para producir enrojecimiento
A	Nunca se broncea / siempre se quema	10-30 mJ/cm <sup>2</sup>
B	Algunas veces se broncea / usualmente se quema	30-50 mJ/cm <sup>2</sup>
C	Usualmente se broncea / algunas veces se quema	50-75 mJ/cm <sup>2</sup>
D	Siempre se broncea / rara vez se quema	75-120 mJ/cm <sup>2</sup>

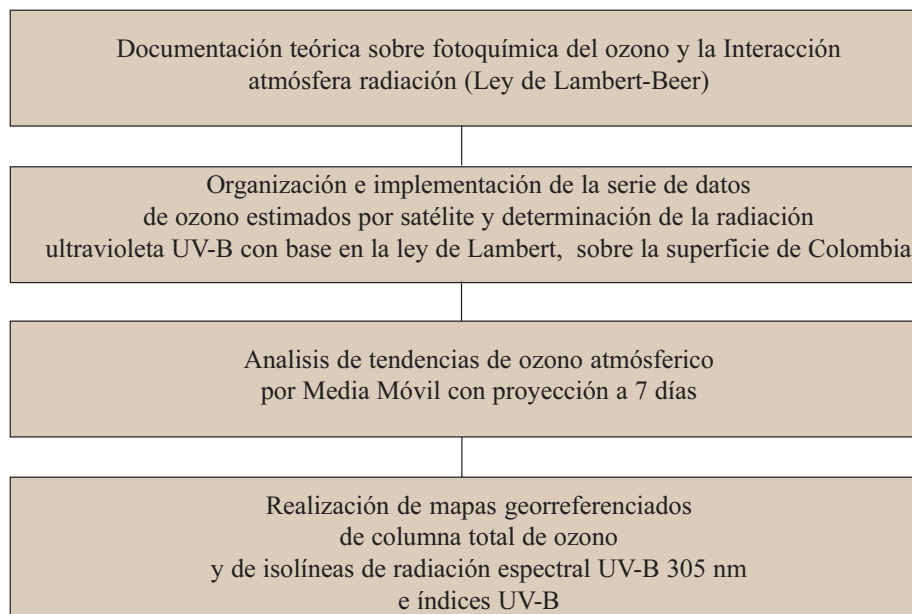
Con esta clasificación y las dosis mínimas arriba enunciadas se calculan los tiempos de exposición en minutos, dividiendo 60 minutos entre el número de dosis

mínimas recibidas de radiación ultravioleta. De acuerdo con este procedimiento, los rangos de exposición para dos de los diferentes tipos de piel –los describimos en la tabla– son:

**Tabla 5.6.**  
**Tiempo de exposición para piel tipos A y D según categoría del índice**

Categoría de exposición/ Valor de índice	Tiempo de exposición (min.) Piel tipo A (más susceptible)	Tiempo de exposición (min.) Piel tipo D (menos susceptible)
Mínima 0 - 2	30	> 120
Baja 3	20	90
4	15	75
Moderada 5	12	60
6	10	50
Alta 7	8.5	40
8	7.5	35
9	7	33
Muy Alta 10	6	30
11	5.5	27
12	5	25
13	< 5	23
14	4	21
15	< 4	20

**Metodología empleada para el análisis de tendencias  
de ozono total y cálculo de radiación espectral  
UV-B**



*5.1. Diagrama de flujo para metodología empleada en el análisis de tendencias de ozono total y cálculo de radiación espectral UV-B.*

## 5.5. Metodología utilizada para la determinación de radiación ultravioleta B a partir de la columna total de ozono medida

### 5.5.1. Descripción Teórica

Debido a las interacciones que sufre la radiación en su paso por la atmósfera, la irradiancia espectral sobre una superficie horizontal tiene dos componentes principales: La radiación directa y la radiación difusa

$$I_b = I_n \cos\theta_z + I_d \quad (5.2)$$

donde:

$I_n$  es la irradiancia espectral directa

$I_d$  es la irradiancia espectral difusa

$\theta_z$  es el ángulo cenital

La irradiancia espectral difusa, de acuerdo con los procesos dispersivos dentro de la atmósfera, está dada por:

$$I_d = I_{dr} + I_{da} + I_{dm} \quad (5.3)$$

donde:

$I_{dr}$  es la irradiancia espectral difusa en la superficie debida a dispersión de Rayleigh.

$I_{da}$  es la irradiancia espectral difusa debida a dispersión por aerosoles, e

$I_{dm}$  es la irradiancia espectral difusa por dispersiones múltiples de la radiación en su paso por la atmósfera.

La irradiancia directa a su vez tiene la expresión

$$I_d = E_0 \cos\theta_z \cdot I_{\lambda_0} \tau_r \tau_o \tau_a \quad (5.4)$$

donde:

$I_{\lambda_0}$  es la constante solar para la longitud de onda

$E_0$  el factor de corrección por excentricidad

$\tau_r = e^{-0,00875\lambda - 4,08ma}$  la transmitancia de la radiación debida a la dispersión de Rayleigh por moléculas de aire

$$\tau_o = 1 - [0,1611U_3(1+139,48U_3)^{0,3035} - 0,002715U_3(1+0,044U_3 + 0,0003U_3^2)^{-1}]$$

es la transmitancia de la radiación debido a la absor-

ción por el ozono con  $U_3 = \frac{\Omega}{1000} m_r$ ,

Para la transmitancia de la radiación debida a la atenuación por los aerosoles  $\tau_a$ , se utiliza la ecuación propuesta por Ångström:

$$\tau_{a\lambda} = e^{-\beta \lambda^\alpha} \quad (5.5)$$

Teniendo en cuenta la corrección por presión para la masa de aire y la dependencia de la masa óptica relativa con el ángulo cenital:

$$m_a = m_r * \frac{p}{1013,25}; \quad (5.6)$$

$$m_a = [\cos\theta_z + 0.15(93.885 - \theta_z)^{-1.253}]^{-1} \quad (5.7)$$

Para el cálculo de la irradiancia global total es necesario determinar con anterioridad de acuerdo con la posición geográfica para cada día del año el ángulo orbital:

$$\alpha_{orb} = \frac{2\pi(nd - 1)}{365} \quad (5.8)$$

la declinación solar:

$$\delta = 0.006918 - 0.399912 \cos\alpha_{orb} + 0.070257 \sin\alpha_{orb} - 0.006758 \cos 2\alpha_{orb} + 0.000907 \sin 2\alpha_{orb} - 0.00269 \cos 3\alpha_{orb} + 0.00148 \sin 3\alpha_{orb} \quad (5.9)$$

la corrección por excentricidad de la órbita:

$$E_0 = 1,00011 + 0,034221 \cos\alpha_{orb} + 0,00128 \sin\alpha_{orb} + 0,000719 \cos 2\alpha_{orb} + 0,000077 \sin 2\alpha_{orb}$$

donde (5.8) y (5.9) son series de Fourier desarrolladas por Spencer para el movimiento aparente del Sol para cada día del año y con base en este el ángulo cenital:

$$\cos\theta_z = \sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \cos\omega \quad (5.10)$$

Con base en lo anterior se determina solamente la radiación espectral instantánea, para las longitudes de onda 305 nm, 320 nm, 340 nm, tomando como referencia el mediodía para el cálculo del ángulo horario.

