

1-1-2001

Comportamiento de la capa de ozono y la radiación ultravioleta sobre Colombia

Leonardo Simbaqueva
Universidad de La Salle, Bogotá

Nelson Javier Suescun
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria

Citación recomendada

Simbaqueva, L., & Suescun, N. J. (2001). Comportamiento de la capa de ozono y la radiación ultravioleta sobre Colombia. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1412

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

COMPORTAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO Y LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA SOBRE COLOMBIA

LEONARDO SIMBAQUEVA
41941042

NELSON JAVIER SUESCUN
41951065

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ D.C.
2001

COMPORTAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO Y LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA SOBRE COLOMBIA

LEONARDO SIMBAQUEVA
41941042

NELSON JAVIER SUESCUN
41951065

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental y Sanitario

Directores:

LEONARDO LOPEZ JIMÉNEZ
Coordinador de Impacto Físico Ambiental
Universidad de la Salle

GUILLERMO CORTES SILVA
Jefe Programa de Físicoquímica Ambiental
IDEAM

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ D.C.
2001

Nota de Aceptación

Decano

Director de Tesis

Jurado

Jurado

DEDICATORIA

Nunca imagine que en el camino de la ejecución de este trabajo encontrara testamentos tan valiosos como los que a tu lado aprendí, ahora te veo diferente y aprendí a amarte y respetarte como nunca antes, trabajar contigo me permitió saber que más que mi padre eres mi mejor amigo.

A mi madre por que siempre haz creído que puedo llegar lejos, tu permanente amor, apoyo y comprensión fueron definitivos para no desmayar.

A mi hermano Iváncho por compartir conmigo algo de tu mundo, por tu ayuda y tu alegría permanentes.

A mi hermano Willy por que siempre has sido un reto.

A mi hermana Angelita por tus lecciones de fortaleza y decisión.

A mi hermana Ruthis por el ejemplo de tu gran Fe.

A mi hermana Linita por el corazón tierno que Dios te dio y como ejemplo de que podemos llegar lejos.

A mi novia, Mile por que siempre recibí de tu fuerza y amor sobretodo cuando las cosas no salían bien, Te amo.

A Jesús de Nazaret por que todo el honor y la gloria son para Ti y por que no hay otro Dios como Tu.

Dedico este trabajo a todos aquellos que han sido victimas no solo de la violencia en nuestro País, sino también a aquellos que afectados por los ecos, a diario luchan y sueñan por una familia y un mundo mejor. Si es posible.

Leonardo.

AGRADECIMIENTOS

A Guillermo Cortes Silva coordinador del Programa de Fisicoquímica Ambiental por su colaboración y dirección

A Leonardo López Jiménez nuestro director y amigo por sus valiosos comentarios, aportes y consejos durante el desarrollo del presente trabajo.

A el Ingeniero Ovidio Simbaqueva Fonseca coordinador del Programa de Radiación Solar, por la invitación constante a hacer investigación en pro del Medio Ambiente y por sus tremendos aportes.

A el Físico Cesar Chacón por su entrega y apoyo permanente durante este trabajo

A todo el personal del IDEAM por su calor humano y apoyo

“ El temor de Jehová es el principio de la sabiduría, y el conocimiento del Santísimo es la inteligencia ”

Proverbios 9: 10

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

OBJETIVOS ESPECIFICOS

MARCO TEORICO

CAPITULO 1

El Ozono y el Medio Ambiente Atmosférico

- 1.1 El Ozono
- 1.2 Formación Natural
- 1.3 Descomposición Natural del Ozono
- 1.4 Descomposición Antropogénica del Ozono
- 1.5 Tipos de Medidas para la Vigilancia del Ozono Atmosférico
 - 1.5.1 Columna Total de Ozono
 - 1.5.2 Ozono Troposférico
 - 1.5.3 Distribución Vertical

CAPITULO 2

El Agujero de la Capa de Ozono

CAPITULO 3

Sustancias que Disminuyen la capa de Ozono

CAPITULO 4

Efectos por la Disminución de la Capa de Ozono

4.1 Efectos sobre la Salud Humana

4.1.1 Daño Ocular

4.1.2 Influencia de la Radiación UV-B en Enfermedades Infecciosas

4.1.3 Inmunosupresión inducida por Radiación UV-B

4.1.4 Cáncer

CAPITULO 5

Efectos de la Disminución de Ozono estratosférico sobre los Ecosistemas

5.1 Ecosistemas Terrestres

5.2 Ecosistemas Acuáticos

CAPITULO 6

Reseña sobre la Vigilancia y Monitoreo de Ozono Atmosférico y Radiación Ultravioleta en Colombia

- 6.1 El Protocolo de Montreal
- 6.2 Red Nacional de Estaciones de Radiación UV
- 6.3 Datos Satelitales de Ozono

CAPITULO 7

Metodología de Investigación

- 7.1 Conformación de la Base de Datos
 - 7.1.1 Descripción del Programa de Consulta Toms y sus Aplicaciones
- 7.2 Monitoreo del Ozono a través de Satélite
- 7.3 Descripción de las Aplicaciones
 - 7.3.1 Descripción de la Instalación para el Programa de Consulta TOMS
- 7.4 Actualización de la Base de Datos
- 7.5 Propiedades de la Base de Datos para Colombia
- 7.6 Descripción Técnica de las Aplicaciones
 - 7.6.1 Aplicaciones

CAPITULO 8

Metodología de Investigación para el Calculo de Índices Ambientales UV

- 8.1 Índices UV
- 8.2 Determinación de Los Índices UV
- 8.3 Utilización de los Índices UV

CAPITULO 9

Metodología Empleada para el Análisis de Tendencias de Ozono Total y Cálculo de Radiación Espectral UV-B

- 9.1 Metodología Utilizada para la Obtención de Datos de Ozono Estimados por Satélite
- 9.2 Metodología Utilizada para la Determinación de Radiación Ultravioleta B a Partir de la Columna Total de Ozono Medida por Satélite
 - 9.2.1 Descripción Teórica

CAPITULO 10

RESULTADOS

10.1 Patrones de Distribución de Ozono por Ciudades

10.1.1 Leticia

10.1.2 Pasto

10.1.3 Bogotá

10.1.4 Riohacha

10.1.5 San Andrés

10.2 RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

10.2.1 Elaboración de Mapas

10.2.2 Mapa Multianual de Radiación Ultravioleta

10.2.3 Enero

10.2.4 Febrero

10.2.5 Marzo

10.2.6 Abril

10.2.7 Mayo

10.2.8 Junio

10.2.9 Julio

10.2.10 Agosto

10.2.11 Septiembre

10.2.12 Octubre

10.2.13 Noviembre

10.2.14 Diciembre

10.3 ÍNDICES AMBIENTALES DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

ANEXOS

GLOSARIO

BIBLIOGRAFIA

ÍNDICE DE FIGURAS

- 1-1 Distribución vertical de ozono en la columna atmosférica OMM(1994)
- 1-2 Gráfica de la desviación promedio porcentual de ozono mundial para latitudes medias y bajas
- 2-1 Episodio del agujero de ozono correspondiente al año 2000, sobre el continente Antártico
- 2-2 Distribución de monóxido de cloro y ozono sobre el continente Antártico, para el episodio del agujero de ozono de 1996
- 3-2 Perfil vertical de concentración del CFC11 y el CFC4 sobre la Antártida
- 6-1 Series históricas de irradiancia ultravioleta, bandas espectrales alrededor de 305 y 320 de longitud de onda, sobre el territorio colombiano
- 7-1 Satélite meteorológico TOMS
- 7-2 Recorrido del satélite sobre la superficie terrestre
- 7-3 Detalle del funcionamiento óptico
- 7-4 Presentación de hojas de campo para datos acumulados de ozono (grilla)
- 7-5 Pantalla del archivo matriz DATA
- 7-6 Pantalla de carpetas instaladoras
- 7-7 Carpeta fuentes de los lenguajes de programación
- 7-8 Pantalla del Buscador de Visual Fox
- 8-7 Columna total de ozono con tendencia de media móvil a 7 días para San Andrés Isla

INDICE DE TABLAS

- 8-1 Tabla de Comportamiento según Fototipo de Piel
- 8-2 Tabla de Dosis Mínima para Producir enrojecimiento según Fototipo de Piel
- 8-3 Tabla de Tiempo de Exposición para Piel Tipo A y D según categoría del Índice

INDICE DE DIAGRAMAS

- 2-3 Diagrama explicativo de la formación del agujero de ozono Antártico. Simbaqueva (1998)
- 3-1 Diagrama de pastel sobre los orígenes del cloro estratosférico catalizador de la destrucción del ozono. Evaluación científica de la destrucción del ozono OMM(1994)
- 5-1 Diagrama de flujo de los efectos dañinos de la disminución del ozono desde el nivel molecular en la células vivientes hasta los ecosistemas biológicos
- 9-1 Diagrama de Flujo para metodología empleada en el análisis de tendencias de ozono total y calculo de radiación espectral UV-B
- 9-2 Diagrama de flujo, modelo de irradiancia espectral UV

INDICE DE MATRICES

10.1 Matriz de Análisis para los Valores de Índices Ultravioleta por Regiones

10.2 Matriz de Valores Calculados para los Tiempos Máximo y Mínimo de Exposición por Tipo de Piel en el Territorio Colombiano

INDICE DE ANEXOS

Mapas de Columna Total de Ozono Mensuales - Multianuales para Colombia

Mapas de Índices UV - Multianuales para Colombia (1997-2000)

INTRODUCCION

Uno de los cambios que se están presentando en el medio ambiente natural, es el aumento notorio de la radiación ultravioleta sobre la superficie de la tierra debido a la degradación continua de la capa de ozono. Esta degradación debida a la contaminación de la atmósfera por las emisiones continuas de gases contaminantes antropogénicos, ha generado creciente interés dentro de la comunidad científica mundial por la importancia que la capa de ozono reviste dentro del equilibrio ecológico.

Frecuentes artículos internacionales, por cierto alarmantes, que se refieren al agotamiento de la capa de ozono atmosférico, son difundidos por diarios, revistas y boletines en todo el mundo y presentan un panorama de peligro para la vida del planeta. Comentarios que penetran en el común de la gente, donde expresiones hasta hace poco desconocidas o casi nunca utilizadas, como: Capa de Ozono, Radiación Ultravioleta, agujero de Ozono, contaminantes CFC, etc., se incorporan al lenguaje del común de la gente, situación que demanda profundas investigaciones acerca de los fenómenos que ocurren en la atmósfera colombiana, investigaciones que deben ser abordadas interdisciplinaria e interinstitucionalmente.

La concertación en 1985 del Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono, seguido en 1987 por el Protocolo de Montreal, relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono, fue el punto de partida de cooperación mundial para la protección de la capa de ozono en la estratosfera. Las reuniones celebradas anualmente por las partes en el Protocolo de Montreal desde 1989 a 1992 tuvieron como resultado la adopción de importantes decisiones destinadas a llevar a la práctica la protección de la capa de ozono, partiendo del estudio sistemático de la física y la química atmosférica, así como de las múltiples consecuencias ambientales del aumento de la intensidad de la radiación ultravioleta sobre la superficie terrestre.

En Colombia el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM como parte de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), conformó desde 1997 una red de cinco estaciones radiométricas para medir Radiación Ultravioleta, sumándose al programa de investigación y Vigilancia Atmosférica Global (VAG) que ha sido designado para integrar los programas globales y regionales de investigación química y de vigilancia de la atmósfera.

Las estaciones se encuentran en diferentes regiones geográficas y en perfil latitudinal desde Leticia (Amazonas), hasta San Andrés Isla. Esta red dispone ya de valiosos datos para abordar investigaciones que evalúen el estado de contaminación atmosférica en detrimento de la capa de ozono y su impacto en la población humana, ecosistemas marinos y terrestres.

Debido a lo expuesto anteriormente el presente trabajo presenta una respuesta a esta necesidad implementando una metodología científica para el estudio del ozono atmosférico y su interrelación con la radiación ultravioleta que incide sobre la superficie del país

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar el comportamiento Espacio-Temporal de la Columna Total de Ozono sobre Colombia, como base para el cálculo Físico-matemático de la Radiación Ultravioleta sobre el territorio nacional estableciendo, a su vez; indicadores ambientales para la salud humana.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer líneas de acceso por medio de Internet a la información proporcionada por el satélite Earthprobe TOMS, con el fin de conformar la base de datos de Ozono para el territorio Colombiano.
- Realizar del programa TOMS para la consulta de datos en visual Fox y programas de aplicación de descarga en Visual Basic 6.0 y en lenguaje C; para abrir la información de datos en Microsoft-Excel y generar la descarga.
- Identificar los puntos coordenados de muestreo para el territorio Colombiano, con el fin de determinar la variación altitudinal del territorio nacional.
- Conformar una base de datos de la serie histórica de Columna Total de Ozono sobre el territorio colombiano con base en los archivos de registro existentes en el satélite Earthprobe TOMS de la Agencia Norteamericana para la Aeronáutica y el Espacio NASA, para la determinación de la distribución espacial y temporal del Ozono en Colombia.

- Elaborar los mapas de isodistribución de Ozono Total sobre el territorio colombiano para el periodo 1997-2000 en orden mensual así como el promedio multianual de la serie histórica, con el propósito de realizar una interpretación gráfica de la información recolectada.
- Mediante la aplicación de la Ecuación de Transferencia Radiativa con base en los datos de Columna Total de Ozono, determinar los niveles de Radiación UV sobre la superficie del territorio Colombiano.
- Elaborar los mapas de isodistribución de Radiación Ultravioleta en la banda espectral UVB 305nm, así como los cálculos de irradiancia UVB 320nm y UVB 340nm sobre el territorio Colombiano para el periodo 1997-2000, tanto los promedios mensuales como el promedio Multianual.
- Calcular los Índices UV, como indicadores ambientales del grado de riesgo proveniente de los niveles de radiación ultravioleta sobre la superficie del territorio, con el propósito de elaborar los mapas de isodistribución para Indicadores de Exposición Solar sobre el territorio Colombiano en el periodo 1997-2000; mensuales y promedio multianual.

MARCO TEORICO

Capítulo 1

El Ozono y Medio Ambiente Atmosférico

La atmósfera alrededor de la Tierra contiene pequeñas cantidades de ozono, cerca de 10^{-6} % del total de los gases componentes de la troposfera, una molécula gaseosa consistente en tres átomos de oxígeno (O_3), cuya presencia juega un papel excepcional para la supervivencia de la vida en el planeta. Esto puede afirmarse debido a que el ozono, junto con el oxígeno molecular, es capaz de absorber la mayor parte de la radiación ultravioleta (UV) proveniente del sol, particularmente la radiación UV-B en el rango 290 a 320 nanómetros (nm) de longitud de onda (λ), cuyos efectos son altamente dañinos para el ser humano y para los ecosistemas terrestres y marinos.

Entre las consecuencias negativas para la salud humana se encuentran: el cáncer de la piel, el erytema (quemaduras por el sol dentro de las siguientes 24 horas a la exposición), las cataratas, la keratitis y, muy probablemente, una depresión en el sistema inmunológico. Además la presencia del ozono en nuestra atmósfera previene que la radiación UV destruya animales y plantas sobre la superficie terrestre y en el medio marino, convirtiéndose en un elemento esencial para la conservación de los ecosistemas biológicos. Las investigaciones recientes, muestran que la radiación UV está afectando desde el fitoplancton marino, base de la cadena alimenticia, hasta la productividad de las cosechas.

Los efectos han sido más claramente identificados en la zona polar Antártica, donde una combinación única de frío extremo y el vórtice polar, resulta en condiciones que favorecen las reacciones de los CFCs con el ozono, de tal manera que en el polo sur entre los meses de agosto y principios de diciembre se observan valores relativamente bajos de concentración de ozono en

una región denominada: "agujero de ozono". Es por lo tanto de importancia máxima determinar los procesos físicos y químicos que regulan el contenido atmosférico del ozono, así como las técnicas de medición empleadas en la determinación de la concentración de este compuesto en la masa atmosférica

1.1 El Ozono

El ozono es una molécula no lineal con un ángulo de enlace de 127° y un dipolo permanente de $1.77 \times 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}$. Se encuentran en la atmósfera terrestre tres especies isotópicas del ozono: $^{16}\text{O}^{16}\text{O}^{16}\text{O}$, $^{16}\text{O}^{18}\text{O}^{16}\text{O}$, $^{16}\text{O}^{16}\text{O}^{18}\text{O}$, presentándose éstas en proporciones atmosféricas de $^{16}\text{O}^{16}\text{O}^{16}\text{O}$ (99.28%), $^{16}\text{O}^{18}\text{O}^{16}\text{O}$ (0.203%) y $^{16}\text{O}^{16}\text{O}^{18}\text{O}$ (0.406%) respectivamente, donde para cálculos atmosféricos, solo se toma en cuenta el isótopo $^{16}\text{O}^{16}\text{O}^{16}\text{O}$ por su abundancia relativa y su capacidad de absorción.

La distribución vertical del ozono difiere de los demás gases atmosféricos, teniendo una concentración máxima cerca de los 25km. El ozono se encuentra principalmente en dos regiones de la atmósfera de la Tierra. La mayoría del ozono (aproximadamente el 90%) reside en una capa que empieza a una distancia comprendida entre 8 y 18 kilómetros de dependiendo de la latitud, por encima de la superficie de la tierra y que se extiende hasta una altura aproximada de 50 kilómetros. Esta región de la atmósfera se denomina la estratosfera. El ozono acumulado en la parte baja de esta región se denomina comúnmente la capa del ozono. El resto del ozono está en la región más baja de la tierra que comúnmente se denomina la troposfera.

El ozono estratosférico desempeña una función beneficiosa absorbiendo la mayoría de la radiación del ultravioleta proveniente del sol, que es perjudicial biológicamente (denominada radiación UV-B), permitiendo que solamente una pequeña parte llegue a la superficie de la tierra. La absorción de la radiación ultravioleta por parte del ozono crea una fuente de calor que en realidad constituye la estratosfera propiamente dicha (una región en la que la temperatura aumenta a medida que se asciende a mayores altitudes). El ozono desempeña por lo tanto una función principal en la estructura de distribución de temperaturas por la atmósfera de la tierra. Sin

la acción filtrante de la capa de ozono, mayor intensidad de radiación UV-B proveniente del sol penetraría en la atmósfera y llegaría a la superficie de la tierra.

En la superficie de la tierra el ozono se pone directamente en contacto con formas de vida y despliega su poder destructivo. Puesto que el ozono reacciona fuertemente con otras moléculas, los elevados niveles de ozono son tóxicos para los sistemas vivientes. En varios estudios se han documentado los efectos dañinos del ozono en la producción de cosechas, en el crecimiento de los bosques y en la salud humana. Los efectos fundamentalmente negativos del ozono troposférico al nivel de superficie, por razón de esta toxicidad directa, contrasta con los beneficios del filtrado adicional de la radiación UV-B que proporciona. La doble función del ozono conduce a dos asuntos ambientales separados. Existen inquietudes acerca del aumento del ozono en la troposfera. El ozono a baja altura es un componente principal de la neblina fotoquímica, un problema familiar en la atmósfera de muchas ciudades del mundo. Cantidades más elevadas del ozono al nivel de la superficie están siendo cada vez más observadas también en zonas rurales. El siguiente gráfico (Fig.1-2) muestra la distribución del ozono en el perfil vertical de la atmósfera.

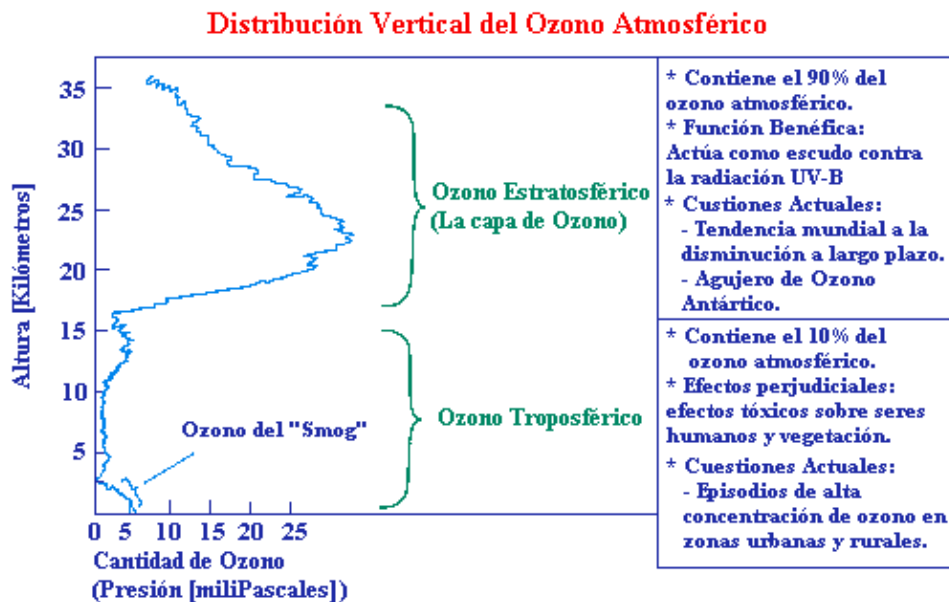


Figura 1-1 Distribución vertical de ozono en la columna atmosférica. OMM (1994).

1.2 Formación Natural

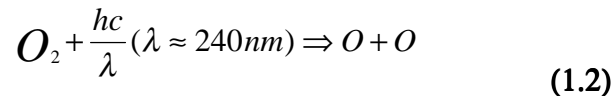
El físico inglés *Sidney Chapman* formuló la primera teoría fotoquímica para la formación y descomposición del ozono en la atmósfera en 1930. Esta teoría, explica la razón para que haya altos contenidos de ozono en la capa entre 15 y 50 kilómetros, determinando la llamada capa de ozono. (*Fig.1-2*) [15].

El ozono se forma por reacciones fotoquímicas al incidir la radiación ultravioleta sobre moléculas de oxígeno (O_2), si esta posee una longitud de onda λ inferior a 240 nanómetros (1×10^{-9} m), los fotones con energía según la cuantización de Planck:

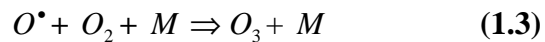
Donde: f : Energía de un foton
 h : Constante de Plank
 h : 6.626176×10^{-34} Js
 c : Velocidad de la Luz

$$E_f = \frac{hc}{\lambda}$$

son absorbidos por el O_2 y la doble ligadura se rompe, dando origen a dos átomos de oxígeno.

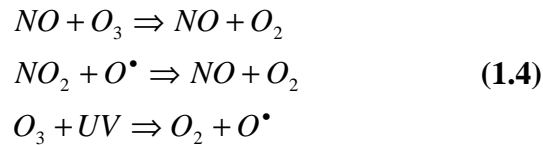


Ahora, los átomos de oxígeno son fuertemente reactivos y muchos de ellos colisionan con O_2 produciendo ozono. Esta reacción solo ocurre en presencia de una tercera molécula M, O_2 o N_2 , capaz de absorber la energía cinética remanente [30]:



Mediciones posteriores, no obstante, mostraron desviaciones apreciables de la teoría de Chapman ya que sus cálculos sobre el contenido de ozono eran considerablemente superiores a los observados. Esto hizo que se pensara en otras reacciones químicas que contribuyeran a la reducción del contenido de ozono. Algunos años más tarde el belga *Marcel Nicolet*, contribuyó con el importante descubrimiento de la manera en que la descomposición del ozono era aumentada por la presencia de radicales de hidrógeno, OH y HO_2 . [16]

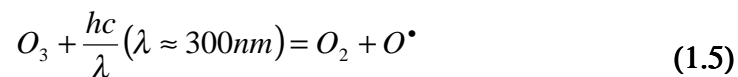
El científico que continuó el siguiente paso fundamental hacia la profundización del entendimiento de la química de la capa de ozono fue *Paul Crutzen*. En 1970, él demostró que los óxidos de nitrógeno NO y NO₂, reaccionaban catalíticamente con el ozono, acelerando la rata de reducción del contenido de ozono:



Siendo el resultado neto $2O_3 \Rightarrow 3O_2$. Estos óxidos de nitrógeno se forman en la atmósfera a través del decaimiento del dióxido de nitrógeno NO₂, el cual se origina de transformaciones microbiológicas en la tierra. La conexión entre microorganismos en el suelo y el grosor de la capa de ozono, demostrada por Crutzen, es uno de los motivos para el desarrollo de investigación en ciclos bio-geoquímicos globales.

1.3 Descomposición Natural del Ozono

La descomposición del ozono se puede producir por fotodisociación, por que las moléculas de ozono también son blanco de la radiación ultravioleta solar, en este caso de la región espectral *UBV* con longitudes de onda: $290 < \lambda < 320nm$



Por otra parte, el ozono se puede combinar con oxígeno atómico para dar oxígeno molecular,

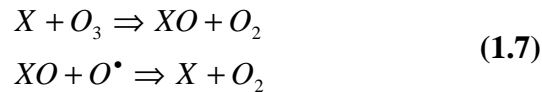


Puesto que los procesos (1.5) y (1.6) son más lentos que las reacciones (1.2) y (1.3), se produce una acumulación de neta de ozono. Por otra parte, por los procesos (1.6) y (1.2), se

genera una gran cantidad de calor que se disipa en la atmósfera y es responsable del aumento de temperatura que se registra al aumentar la altitud en la estratosfera.

1.4 Descomposición Antropogénica del Ozono

En la estratosfera existen otras especies químicas, tanto de origen natural como antropogénico, como radicales OH , óxidos de nitrógeno, metano, compuestos clorados etc., que pueden intervenir en procesos químicos que den lugar a la eliminación del ozono estratosférico. Estos compuestos están presentes en muy baja concentración y pueden intervenir en la destrucción del ozono a través de procesos catalíticos. Mediante este tipo de procesos estos compuestos intervienen en las distintas etapas de eliminación del ozono, recuperándose al final del proceso. Estos procesos cíclicos constan de dos reacciones encadenadas, cuyo resultado final es el mismo que el que se logra en el proceso (1.3), siguiendo el siguiente esquema:



Con el proceso neto:



En este proceso cíclico X puede representar a distintas especies, como el hidrógeno (H), el bromo (Br) y el cloro (Cl) atómicos, el radical OH , el NO o el CO . Este es un proceso catalítico, siendo X la especie que actúa de catalizador, puesto que se recupera totalmente al final del proceso. Cada una de las especies X da lugar a una velocidad de eliminación de ozono distinta según su naturaleza química. A igualdad de concentraciones, las especies NO , Cl , Br , dan lugar aproximadamente al 60% destrucción del ozono formado, mientras que el H y el OH dan cuenta de un 15% y el CO un 5%. Estos procesos catalíticos no son las únicas reacciones químicas que tienen lugar en la estratosfera, si bien la disminución histórica del ozono sigue su curso como se puede apreciar en la figura (Fig.1-4)

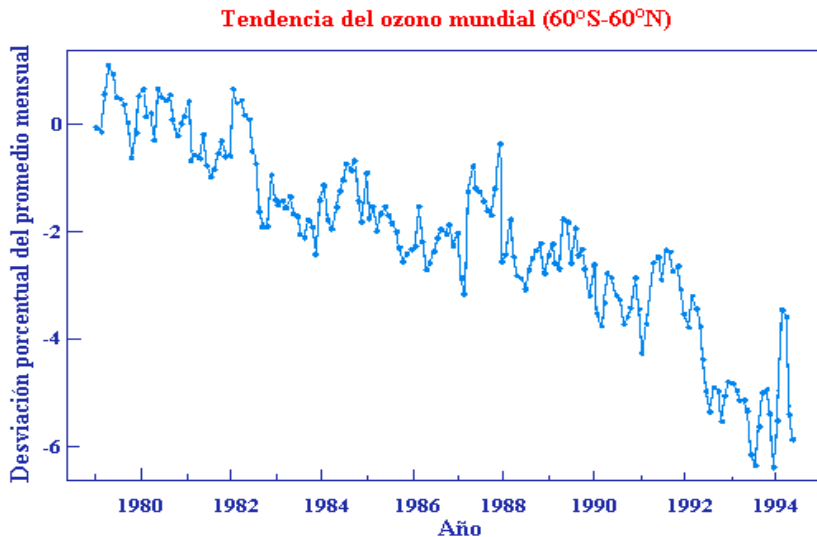


Figura 1-2 Gráfica de la desviación promedio porcentual del ozono mundial para latitudes medias y bajas. OMM (1994) [28]

1.5 Tipos de Medidas para la Vigilancia del Ozono Atmosférico

Básicamente existen tres formas de cuantificar la cantidad de ozono presente en la atmósfera, de acuerdo a las necesidades de investigación impuestas por el medio científico. Precisamente la organización meteorológica mundial (*OMM*) tiene dentro de sus lineamientos para la vigilancia atmosférica global las siguientes medidas:

- Columna total de ozono
- Ozono troposférico
- Distribución vertical de ozono.

1.5.1 Columna Total de Ozono

El Ozono total es definido como la profundidad del ozono en una columna vertical con una base de 1cm^2 a temperatura y presión estándar, y es expresada en unidades de presión. El promedio global es cercano a 300 matm-cm , donde la unidad [*matm-cm*] es comúnmente denominada Unidad Dobson [*UD*]. Una *UD*, es equivalente a la profundidad de 0.01mm . El rango de valores típicos para la columna total de ozono se encuentra entre 230UD y 500UD . El

ozono no está uniformemente distribuido en la columna vertical; cerca de un 90% del total es localizado en la estratosfera, donde precisamente tiene su máximo.

Tres tipos de instrumentos son frecuentemente utilizados para medir la columna total de ozono, desde estaciones localizadas sobre la superficie todos ellos utilizan el principio de absorción de radiación ultravioleta por el ozono en la banda espectral de 300-460nm. Ellos son:

- *El espectrofotómetro Dobson*, cuyo principio de medición del se basa en el hecho físico que la intensidad de un haz de luz (de una dada longitud de onda), disminuye al atravesar algún medio absorbente. Aplicando esto a la medición de la radiación solar que atraviesa la atmósfera se puede inferir la cantidad de O_3 presente en la misma.
- *El Filtro Ozonometrico*, es un instrumento basado en el mismo principio que el espectrofotómetro Dobson usando la absorción diferencial de la radiación UV y ha sido usado ampliamente en los países de la antigua Unión Soviética desde hace 30 años.
- *El Espectrofotómetro de rejilla Brewer*, es un instrumento que utiliza una rejilla de difracción y cinco pequeñas bandas entre los 306 y los 320 nm de longitud de onda. Este instrumento continuamente sigue la trayectoria del sol durante el día, recibiendo la radiación directa proveniente del sol para el cálculo de la ecuación de transferencia radiativa del contenido total de ozono en la columna atmosférica.

Todos estos equipos miden ozono a partir de la absorción de radiación ultravioleta como método de detección, [39]

1.5.2 Ozono Troposférico

El ozono Troposférico juega un papel importante en los ciclos químicos de gases en la atmósfera. La producción de átomos de oxígeno y eventualmente radicales hidroxilo, sus propiedades oxidantes y mecanismos de reducción son modulados por el ozono. En la troposfera el ozono es un gas de efecto invernadero con la potencialidad de cambiar su concentración en la superficie por la influencia de actividades humanas como la combustión interna del parque automotor, la actividad industrial, etc.

Tanto para la salud humana, como por ser determinante del calentamiento local de grandes ciudades, su monitoreo es de vital importancia dentro del desarrollo sostenible. Debido a que el ozono es un gas sumamente reactivo, las medidas de ozono Troposférico deben realizarse en un número de puntos suficientes para determinar las variaciones temporales y espaciales. Existen varios métodos de medición in-situ para obtener series de tiempo de largo término, que incluyen principios químicos, químico-luminiscentes y fotometría ultravioleta.

El último método es el más ampliamente difundido entre la comunidad científica, por su absoluta precisión, estabilidad, libertad de interferencias, y facilidades de operación. En fotometría UV de superficie, el principio básico de los instrumentos es la medición de la atenuación de radiación UV con longitud de onda de 254nm, debido a la presencia de ozono en una muestra de aire. En la práctica los instrumentos miden la atenuación relativa entre una muestra de aire del medio ambiente y una muestra de aire sin ozono.[40]

1.5.3 Distribución Vertical

Dentro del conocimiento de la dinámica atmosférica es imprescindible conocer como se comportan con la altura, las variables de estado del sistema termodinámico atmosférico. En primera aproximación se considera simetría azimutal y solo dependencia con la altura. La forma más directa, es medir capa por capa a través del lanzamiento de un globo meteorológico (Radiosonda), la temperatura, la presión, la humedad relativa, la velocidad del viento. Específicamente la distribución vertical de ozono también puede medirse a través de un instrumento diseñado para reaccionar químicamente con el ozono contenido en el aire, enviando una señal eléctrica proporcional a la concentración del compuesto. El sensor de ozono consiste en una celda electroquímica de oxidación-reducción con dos electrodos de platino inmersos en soluciones de yoduro de potasio de diferentes concentraciones, contenidas en cámaras separadas ánodo-cátodo, las cuales están hechas en politetrafluoretileno (teflón). Las cámaras están unidas mediante un puente de iones que sirve como camino y retarda la mezcla de electrolitos anódicos y catódicos, preservando de esta manera sus concentraciones.

En resumen el ozono entra en la cámara catódica, tiene lugar la reacción de oxidación-reducción y las concentraciones de yodo cambian, entonces la fuerza electromotriz es diferente

de cero. De esta forma por cada molécula de ozono se produce una corriente de dos electrones. Como la constante de equilibrio es bastante alta, la reacción es cuantitativa y puede usarse para medir la concentración de ozono.

Capítulo 2

El Agujero de la Capa de Ozono

En realidad no existe un agujero como tal en la capa de ozono de la atmósfera terrestre, sino que se ha denominado "agujero de la capa de ozono", al descenso vertiginoso de la concentración de ozono que entre septiembre y octubre se presenta cada año en la región Antártica.

Este fenómeno centrado cerca del polo sur, abarca una superficie cercana a los 26 millones de kilómetros, debido a que en esta época del año se forma un "cinturón ciclónico" en altura con vientos que giran a gran velocidad sobre el casquete polar antártico que alcanzan hasta de 50 km. de altura y se le denomina "*Vórtice Polar*". Esta situación impide el intercambio gaseoso con el exterior y al llegar la luz solar en época de primavera, se da lugar la interacción fotoquímica en la atmósfera encerrada dentro del "vórtice" y se libera cloro atómico de las sustancias que contienen cloro que allí se encuentran como el caso de los denominados *CFC*, cloro que es muy reactivo con el ozono y esta situación es la que ocasiona el descenso vertiginoso de concentración de ozono en la región antártica y mares adyacentes.

En la figura (*Fig. 2-1*) se presentan las imágenes del satélite (*TOVS*) para el día 18 de octubre de 2000, donde se aprecia la formación del "agujero" y la del 13 de diciembre del mismo año y en ella se observa normalidad en el estado de concentración de ozono. Estas imágenes corresponden al último episodio de "agujero de Ozono" sobre la tierra.

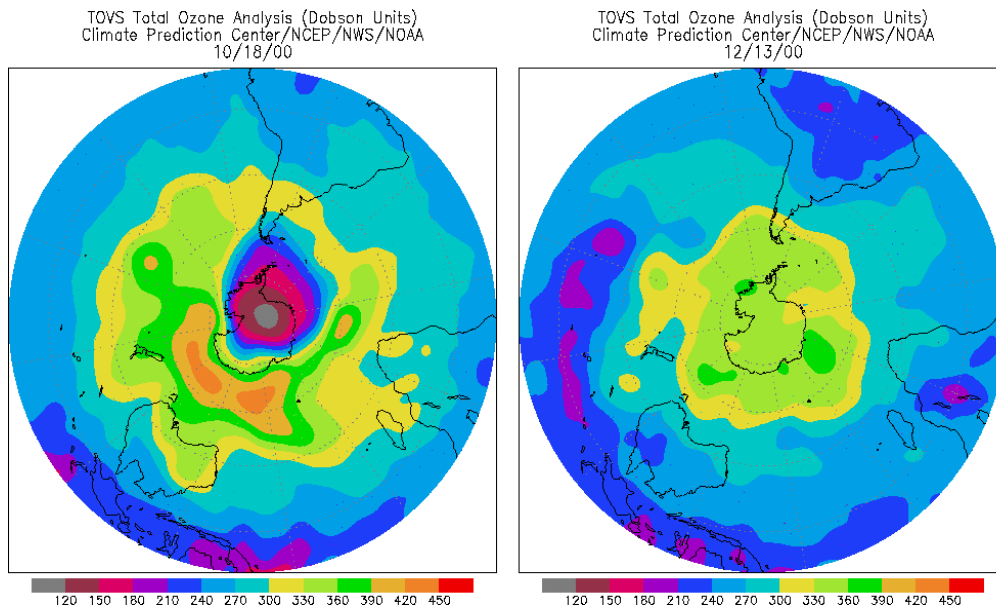


Figura 2-1: Episodio del Agujero de Ozono correspondiente al año 2000, sobre el continente Antártico

En las regiones polares árticas, ocurre un proceso similar que ha llevado también a un agotamiento químico importante del ozono de la columna durante la parte última del invierno y en la primavera, en seis de los últimos nueve años. La pérdida del ozono desde enero hasta finales de marzo ha sido ordinariamente del 20-25% y las pérdidas por períodos más breves han sido superiores, dependiendo de las condiciones meteorológicas en la estratosfera del ártico.

En 1971 *Harold Johnston*, llevó a cabo extensos estudios de laboratorio de los compuestos nitrogenados, notando que, una posible amenaza contra la capa de ozono que se podría presentar, era la flota de aviones supersónicos de transporte *SST*. Estos aviones podían liberar óxidos de nitrógeno justo en medio de la capa de ozono a altitudes de 20 kilómetros. Los trabajos de *Paul Crutzen* con relación a las reacciones catalíticas del ozono con los compuestos nitrogenados, y de *Harold Johnston* desataron una fuerte controversia entre los investigadores, técnicos y quienes tomaban las decisiones. Se impulsó la investigación de la química de la atmósfera y los planes para la gran flotilla de *SST* fueron cancelados entre otras razones por los riesgos ambientales que ellos conllevaban.

El próximo salto en nuestro conocimiento del ozono vino en 1974, cuando *Mario Molina* y *Sherwood Rowland* publicaron su ampliamente aclamado artículo en *Nature* acerca de la amenaza proveniente de los *clorofluorocarbonos (CFCs)*, gases (*freones*) usados en los aerosoles, así como en sistemas de refrigeración. *Molina* y *Rowland* basaron sus conclusiones en dos importantes contribuciones de otros investigadores: *James Lovelock (Inglaterra)* había desarrollado recientemente un sistema altamente sensible de medición de gases orgánicos cuyo contenido es extremadamente bajo en la atmósfera: el detector de captura electrónica. Usando este instrumento se pudo demostrar que los gases *CFCs* se estaban diseminando en toda la atmósfera. *Richard Stolarski* y *Ralph Cicerone (USA)* quienes mostraron que los átomos libres de cloro en la atmósfera pueden descomponer catalíticamente el ozono tanto como lo hacen los óxidos de nitrógeno.

Molina y *Rowland* comprendieron que los químicamente inertes *CFCs* podrían gradualmente ser transportados a la capa de ozono, y allí con la presencia de la energética radiación ultravioleta [5], ser separados en sus constituyentes, dejando átomos de cloro libres (Fig.3-1). Ellos calcularon que si se continuaba con el uso de los *CFCs*, la capa de ozono podría ser reducida en una gran porcentaje en las siguientes décadas. Su predicción creó enorme atención ya que los *CFCs* eran usados en muchos procesos técnicos y su alta estabilidad química además de su no-toxicidad hacía pensar que se trataba de un compuesto ambientalmente ideal.

El reporte de *Molina* y *Rowland* desembocó en ciertas restricciones a la liberación de *CFCs* durante los últimos años de 1970 y los primeros años de 1980, pero no fue sino hasta 1985 cuando el verdadero impacto se desencadenó, dándose una urgencia real en las negociaciones internacionales acerca de restricciones al uso de los *CFCs*. Fue entonces cuando el inglés *Joseph Farman* y sus colegas notaron una disminución drástica de la capa de ozono sobre la Antártica, el famoso agujero de ozono. (Fig.2-1) Las disminuciones eran tan grandes como las que se esperaban de los recientemente calculados efectos de los *CFCs*.

El debate contra los investigadores se intensificó, pues se adujo que esta disminución podría ser una variación climática natural y no debida a la mano del hombre. Gracias a los trabajos pioneros de *Crutzen*, *Molina* y *Rowland*, como también de *Susan Solomon* y *James Anderson* de Estados Unidos, la visión comenzó a aclararse. La disminución es causada

principalmente por reacciones del ozono con bromo y cloro cuyo origen son gases industrialmente manufacturados, tal como puede apreciarse en la siguiente gráfica (Fig.2-2)

**Monóxido de Cloro y el agujero de Ozono de la Antártida:
Finales de Agosto de 1996**

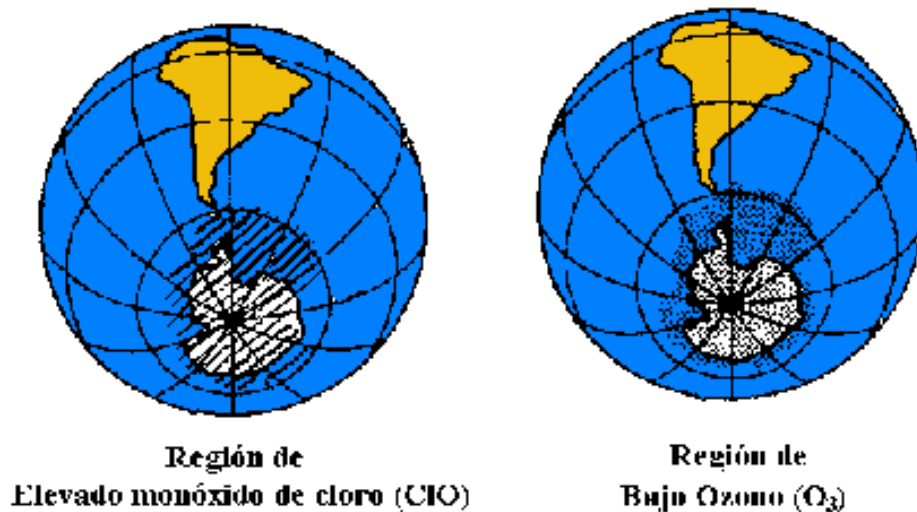


Figura 2-2: Distribución de Monóxido de Cloro y Ozono sobre el continente Antártico, para el episodio de agujero de Ozono de 1996

La disminución sorprendentemente rápida del ozono sobre la Antártica no pudo explicarse por fenómenos de transporte o por reacciones químicas gas-fase. *Paul Crutzen* y sus colegas identificaron un mecanismo alternativo, las reacciones en la superficie de nubes de partículas en la estratosfera. La disminución del ozono en la Antártica está relacionada con las temperaturas extremadamente bajas que prevalecen en la región, las cuales permiten la condensación de agua y ácido nítrico para formar “*nubes polares estratosféricas*” (NPE). La descomposición del ozono por reacciones químicas es reforzada por la presencia de estas nubes y la formación del vórtice polar. (Fig. 2-3)

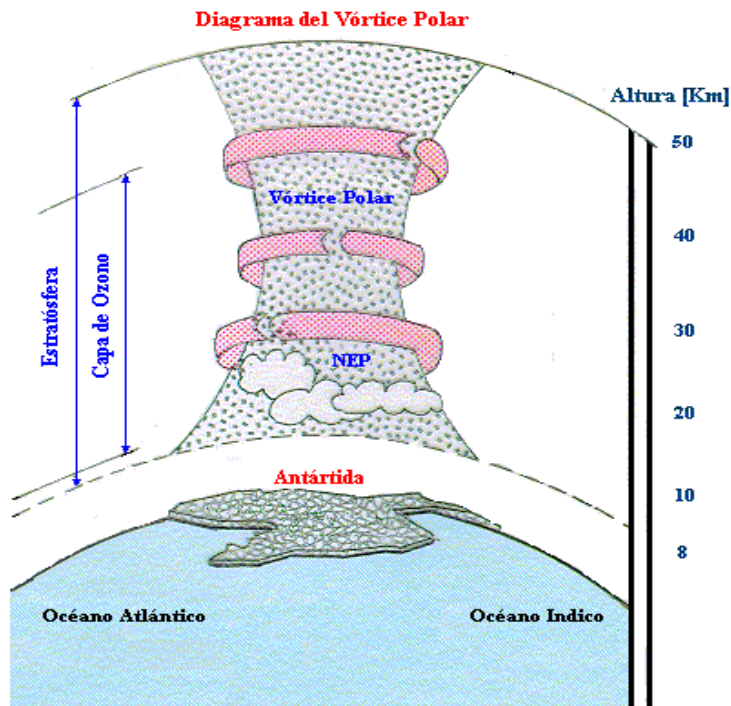


Figura 2:3 Diagrama explicativo de la formación del agujero de ozono Antártico. Simbaqueva (1998). [30]

El problema del ozono también tiene interesantes conexiones con el hecho de cómo el ser humano está afectando el clima. El ozono, como el dióxido de carbono y el metano, es un gas de efecto invernadero, debido a la presencia de su banda de absorción alrededor de los $9.6 \mu\text{m}$ de longitud de onda, por lo cual contribuye al aumento de la temperatura de la superficie terrestre. Modelos han mostrado que el clima es especialmente sensible a cambios en el contenido de ozono en capas inferiores, específicamente en la troposfera. En esta capa atmosférica el contenido de ozono ha aumentado apreciablemente durante el último siglo, principalmente debido a la liberación de óxido nítrico, monóxido de carbono y de gases hidrocarburos provenientes de vehículos y procesos industriales, así como de la combustión de la biomasa en los trópicos. El elevado contenido de ozono en capas atmosféricas bajas es en sí mismo un problema ambiental debido al daño que pueden causar a la salud humana y a las cosechas. Finalmente los trabajos de *Paul Crutzen* del Instituto Max Planck para la Química, *Mario Molina* del M.I.T. y de *Sherwood Rowland* de la Universidad de California, fueron galardonados en 1995 con el premio Nobel en Química, "por su trabajo en química atmosférica, particularmente concerniente a la formación y descomposición del ozono" [16].

Capítulo 3

Sustancias que Disminuyen la Capa de Ozono

Las pruebas científicas acumuladas en más de dos decenios de estudio de la comunidad de investigadores internacionales han demostrado que las sustancias químicas producidas por el hombre son responsables del agotamiento observado de la capa de ozono, como puede observarse en la gráfica de pastel, (Fig.3-1). Los compuestos que agotan la capa de ozono contienen diversas combinaciones de los elementos químicos: cloro, flúor, bromo, carbono, conocidos con la abreviatura *CFC*. Los *CFC*, el tetracloruro de carbono y el metilcloroformo son gases importantes producidos por el hombre que agotan la capa de ozono y que han sido utilizados en muchas aplicaciones incluidas la refrigeración, el equipo de aire acondicionado, la espumación, la limpieza de componentes electrónicos y como disolventes. Otro grupo importante de halocarbonos producidos por el hombre son los halones que contienen carbono, bromo, flúor y (en algunos casos) cloro y que han sido principalmente utilizados como extintores de incendios.

Fuentes primarias del Cloro que entra en la Estratósfera

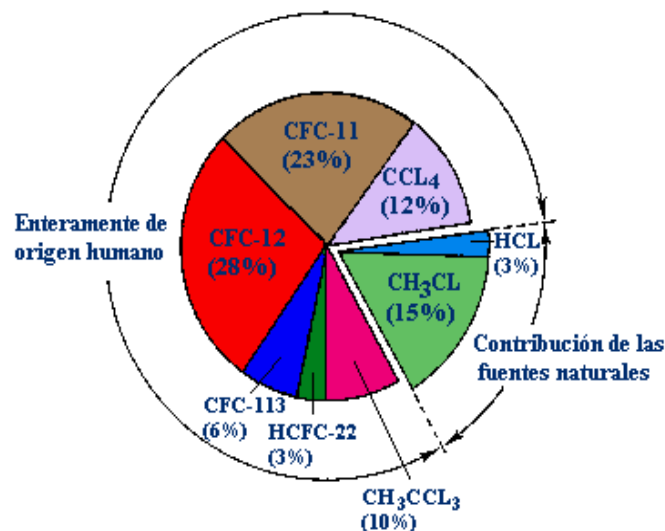


Figura 3-1: Diagrama de pastel sobre los orígenes del cloro estratosférico catalizador de la destrucción del ozono. Evaluación científica de la destrucción del ozono. OMM. (1994) [28]

Los gobiernos han decidido que debe de interrumpirse la producción de los *CFC*, de los halones, del tetracloruro de carbono y del metilcloroformo (excepto para algunos pocos usos especiales), y la industria ha desarrollado sustitutos más "favorables al ozono".

La reparación implica el Protocolo de Montreal y sus Enmiendas y Ajustes en los que se ha convenido en el foro internacional. Este acuerdo regula la producción de los *CFC* y de otras sustancias que agotan la capa de ozono. Se eliminó la producción de las sustancias más dañinas para la capa de ozono excepto para unos pocos usos críticos, al año 1996 en los países desarrollados y se eliminará al año 2010 en los países en desarrollo. Como resultado, la concentración total de cloro en la atmósfera inferior que será transportado a la estratosfera ha llegado ya a un máximo. Las concentraciones en la estratosfera llegarán probablemente a un valor máximo al final de este decenio y seguidamente empezarán a disminuir lentamente a medida que los procesos naturales retiran las sustancias que agotan la capa de ozono. Siendo iguales todos los otros elementos, y adhiriéndose a los acuerdos internacionales se prevé que la capa de ozono se recupere aproximadamente en los siguientes cincuenta años.

Los *CFC* llegan a la estratosfera porque la atmósfera de la tierra está siempre en movimiento y mezcla las sustancias químicas que se le añaden. En realidad las moléculas de *CFC* son varias veces más pesadas que el aire. No obstante, miles de mediciones de globos, aeronaves y satélites demuestran que los *CFC* están realmente presentes en la estratosfera. Esto se debe a que los vientos y otros movimientos del aire mezclan la atmósfera hasta altitudes por encima de la parte superior de la estratosfera con mucha más velocidad que aquella a la que las moléculas pudieran depositarse por su peso. Los gases tales como los *CFC* que no se disuelven en agua y que relativamente no reaccionan en la atmósfera inferior se mezclan con relativa rapidez y por consiguiente llegan a la estratosfera sea cual fuere su peso. Las modificaciones medidas de la concentración de los componentes de la atmósfera en función de la altitud nos enseñan acerca del destino de los compuestos en la atmósfera. Por ejemplo, dos gases el tetracloruro de carbón (*CF₄*, producido principalmente como producto secundario de la fabricación de aluminio) y el *CFC-11* (*CCl₃F*, utilizado en una diversidad de actividades humanas) son ambos más pesados que el aire. El tetrafloruro de carbono no reacciona de ninguna forma a altitudes por lo menos por encima de

150 kilómetros en la atmósfera. Las mediciones indican que está casi uniformemente distribuido por la atmósfera según se ilustra en la figura siguiente (Fig.3-2).

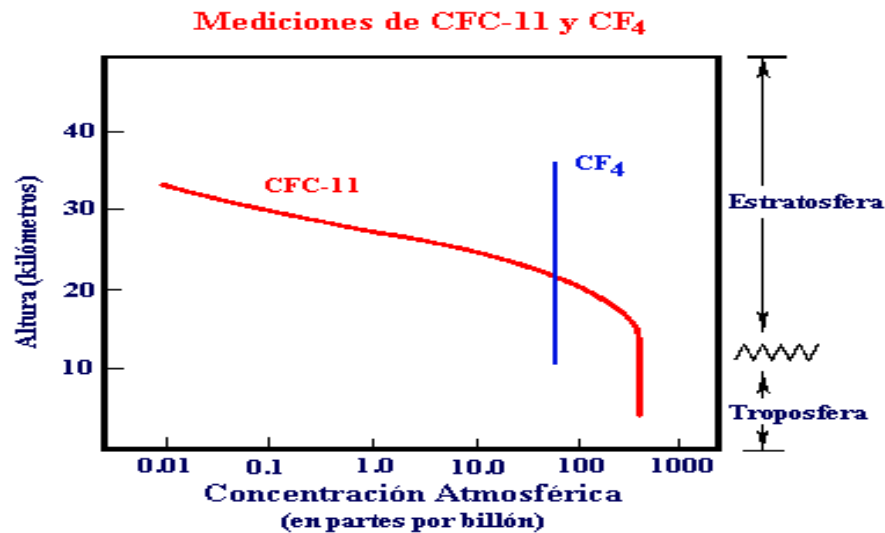


Figura 3-2: Perfil vertical de Concentración del CFC11 y el CFC4 sobre la Antártida.

Se han efectuado mediciones en los últimos dos decenios de otros varios gases que no reaccionan de ningún modo pero que son más ligeros que el aire (neón) o más pesados que el aire (argón y criptón), demostrando que también se mezclan hacia arriba por toda la estratosfera sea cual fuere su peso. Los *CFC-11* no reacciona en la atmósfera inferior y se mezclan de modo análogo uniformemente en ese lugar, según se indica en la figura. Sin embargo, la abundancia de *CFC-11* disminuye a medida que el gas llega a altitudes más elevadas puesto que se descompone por la acción de la radiación ultravioleta solar de elevada energía. El cloro liberado por esta descomposición del *CFC-11* y de otros *CFC* permanece durante varios años en la estratosfera en la que los átomos de cloro destruyen muchos miles de moléculas de ozono. [36]

Capítulo 4

Efectos de la Disminución de la Capa de Ozono

En general no es perjudicial una exposición moderada a la luz del sol en el transcurso de la vida diaria. Esta exposición básica nos permite evidentemente funcionar con normalidad y demuestra ser suficiente para mantener un nivel adecuado de vitamina D (en combinación con nuestra dieta). Aunque la luz del sol es importante para la salud física también produce diversos efectos perjudiciales para la salud tales como cáncer cutáneo, envejecimiento de la piel, desórdenes oftálmicos y supresión del sistema inmunológico. La exposición excesiva a la radiación ultravioleta (*UV*) debe evitarse para reducir a un mínimo el riesgo de que se produzcan tales desórdenes, pues el incremento de la radiación *UV* por la disminución del ozono estratosférico, desencadena una serie de impactos en la salud humana.

4.1 Efectos sobre la Salud Humana

4.1.1 Daño Ocular

La exposición a la radiación ultravioleta ha sido asociada con el daño en córnea, cristalino y retina en el ojo. El principal daño en la cornea relacionado con la exposición a la radiación *UV-B* es la fotokeratitis, la cual aparece por exposiciones agudas a la radiación *UV-B*. En el caso de los cristalinos, el principal daño que sufren por exposición a radiación son las cataratas, dándose daños relacionados con radiación *UV-B* de dos formas: corticales y subcapsulares posteriores. En este caso los daños se producen por exposición acumulativa. Tanto el tiempo de exposición como la dosis promedio recibida están directamente relacionadas con el riesgo. Se ha estimado que una disminución de 1% en el ozono estratosférico, está acompañado por un incremento entre 0.6% y 0.8% en el número de casos de cataratas. Los daños en la retina aunque raros, pueden ocurrir particularmente en personas cuyos cristalinos son retirados en operaciones de cataratas.

En la literatura reciente se indica la posibilidad de dos casos adicionales donde el sistema ocular es afectado por la exposición al sol y posiblemente a la radiación *UV-B*, la presbicia y deformaciones en la cápsula anterior del cristalino. La presbicia es la pérdida de la habilidad del ojo de acomodarse cambiando la longitud focal. Se piensa que es resultado del envejecimiento de los cristalinicos, y comúnmente requiere el uso de lentes para la visión cercana. Recientes estudios [34] han relacionado la presbicia en personas que viven en áreas de alta insolación y altas temperaturas. Un estudio de problemas de visión en Somalia reportó que deformaciones en la cápsula anterior de los cristalinicos en el área central pupilaria están fuertemente conectados con keratopatías climáticas, y por inferencia con radiación *UV-B* reflejada [18].

4.1.2 Influencia de la Radiación UV-B en Enfermedades Infecciosas

El incremento en la exposición del ser humano a la radiación *UV-B* posiblemente desate un incremento en enfermedades infecciosas. Con excepción del tratamiento de infecciones por herpes [33], no se han realizado estudios de este problema en seres humanos. No obstante algunos reportes indican una gran cantidad de virus que pueden ser activados por irradiación *UV-B* in vitro. Además del herpes, se incluyen estudios en *VIH-1* (virus de inmunodeficiencia humano) [41], y variedades de virus papiloma. En el caso tanto de infecciones por herpes y por *VIH* la activación inducida por *UV* se ha demostrado tanto in vitro como in vivo.

4.1.3 Inmunosupresión inducida por radiación UV-B

Los efectos en el sistema inmunológico humano fueron demostrados por Baadsgaard et al [1] y Scheibner et al. [29] como un efecto en células antígenas. Estudios realizados por Cooper et al [6] confirman estos impactos mostrando que la radiación *UV-B* suprime la sensibilización a ciertas substancias en seres humanos. La radiación *UV* tiende a afectar el comportamiento inmunológico de la piel, la primera línea de defensa del cuerpo contra agentes externos. La exposición a la radiación *UV* compromete la habilidad del individuo de responder inmunológicamente de manera local o sistémica ante altas dosis.

Experimentos preliminares indican que la radiación *UV-B* afecta de manera adversa la habilidad de animales de responder a varios agentes infecciosos. A pesar que estudios epidemiológicos en seres humanos no sugieren que tales efectos estén ocurriendo en poblaciones humanas, los datos reportados para animales sugieren que debe darse un incremento en la ocurrencia de ciertas infecciones. En áreas del mundo donde las enfermedades infecciosas implican un alto riesgo a la población, se hace inquietante la relación entre irradiancia *UV* y aumento de morbilidad en la población.

4.1.4 Cáncer

La relación entre la exposición a radiación *UV-B* y dos formas de cáncer no-melanoma en la piel: el cáncer celular basal y el carcinoma celular escamoso, aparecen en relación con la dosis adquirida durante el período de vida como factor de riesgo. Las características fenotípicas tales como el color de la piel pueden modificarse en un ambiente de alta incidencia de radiación UV, de tal forma que individuos de pieles más claras son más susceptibles a ser afectados por la radiación que individuos con pieles más oscuras bajo la misma intensidad radiante [32]

La relación entre la exposición a la radiación *UV-B* y el cáncer melanoma de la piel es mucho más compleja. Se dan dos posibles explicaciones, la primera sugiere que exposición severa intermitente es determinante de la ocurrencia en edades posteriores. Otra posibilidad sugiere que la exposición del ser humano en edades tempranas (antes de los 10-14 años) es decisiva en las malformaciones cancerígenas de la piel en la edad adulta. Estudios realizados sobre animales indican que una disminución de 1% del ozono estratosférico redundaría en un incremento de 3% en casos de cáncer no-melanoma, y un incremento un poco más bajo en cáncer melanoma. [11]

Capítulo 5

Efectos de la Disminución de Ozono Estratosférico sobre los Ecosistemas

La importancia de los niveles de *UV-B* provenientes del sol ha sido comprobada experimentalmente. Se ha demostrado que el crecimiento de las plantas, y en algunos casos la fotosíntesis, pueden ser alterados. Investigación continuada en plantas responde a necesidades planteadas dentro de campos de la agricultura, recursos forestales, y ecosistemas naturales en relación con la disminución del ozono. En ecosistemas acuáticos, los estudios sobre disminución en la biomasa producida se centran en la interrelación entre la radiación *UV-B* y el fitoplancton como base de la cadena alimenticia. Estos organismos no poseen receptores *UV-B* de manera que no pueden evitar ser deteriorados por la exposición a radiación en estas longitudes de onda. (Ver Diagrama de flujo (Fig. 5-1)).

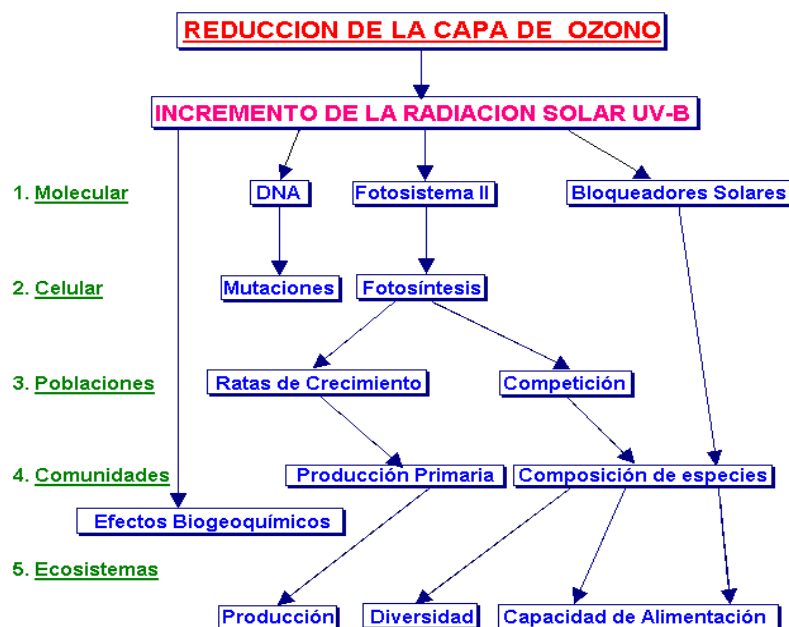


Figura 5-1: Diagrama de flujo de los efectos dañinos de la disminución del ozono desde el nivel molecular en las células vivientes hasta los ecosistemas biológicos [38].

5.1 Ecosistemas Terrestres

Los campos de investigación en ecosistemas terrestres y su comportamiento a largo plazo en un ambiente donde la intensidad de radiación ultravioleta sobre la superficie ha aumentado, son de gran interés en la comunidad científica mundial. La mayor parte de la investigación se ha centrado en los efectos producidos en el crecimiento de las plantas y en su fisiología bajo condiciones de irradiación *UV* artificial en cámaras de crecimiento e invernaderos. También se ha trabajado con filtros naturales a la radiación *UV-B* para determinar los comportamientos de los ecosistemas en ambientes donde la radiancia *UV* proveniente del sol es reducida.

En las especies vegetales que han sido probadas, se observa un crecimiento menor de la planta en condiciones de alta radiancia *UV-B*, tanto en la altura propiamente dicha como en su peso y área de las hojas. Directamente se ve afectado el proceso de fotosíntesis, el cual se ve reducido por efectos directos sobre la fotosíntesis, e indirectamente por la pigmentación fotosintética y la función estomatal. Las dosis para que dichos procesos se den, han sido claramente demostradas en la mayoría de los casos. Las plantas sensibles a cambios en la radiación *UV-B* sobre la superficie, acumulan componentes que absorben radiación *UV* en sus capas externas, presumiblemente para proteger regiones internas de los daños causados por radiación. [35]

5.2 Ecosistemas Acuáticos

Los trabajos realizados en sistemas acuáticos se han concentrado en aguas subpolares de la Antártica, debido a la alta productividad de esta zona y la ocurrencia del agujero de ozono sobre esta región. Los organismos como el fitoplancton se orientan dentro de la columna de agua por factores externos. No obstante, no es este el caso con la radiación *UV*. El fitoplancton carece de receptores *UV*, y dada la penetración de la radiación dentro de la columna de agua, proteínas intrínsecas de los fotorreceptores de radiación son blanco de elevadas dosis de radiación *UV*, afectando a su vez sus sistemas fotosintéticos. La inhabilidad en ajustar su posición dentro de la columna, causa en la población de fitoplancton una inhibición masiva de la fotosíntesis, medida

tanto en laboratorio como en campo. Solo en pocos casos se ha detectado la producción de pigmentos apantalladores de la radiación *UV*.

El consumo de sustancias nitrogenadas por parte de plantas mayores es posible por la presencia de microorganismos que son altamente sensibles a la radiación *UV-B*. El aumento de la intensidad radiante en la superficie se refleja en pérdidas en la fijación de nitrógeno del ambiente, que solo podría ser compensada por fertilización.

El incremento de los niveles de radiación *UV*, si bien no afecta directamente a los consumidores dentro de la cadena alimenticia, si lo hace indirectamente al afectar la población de productores primarios. Debido a que más del 30% de la proteína animal del mundo para consumo humano proviene del mar, las poblaciones humanas también se verán afectadas por el incremento de la radiación *UV* en las fuentes acuáticas.

Otra posible consecuencia del decrecimiento en la productividad marina primaria, puede ser la reducción de la capacidad de los océanos en absorber dióxido de carbono. Una pérdida hipotética del 10% del fitoplancton marino, podría reducir la absorción de cerca de 5 GT de dióxido de carbono en el mar, lo que equivale a la cantidad anual de emisiones de dióxido de carbono producido por combustión de combustible fósiles. [25]

Capítulo 6

Reseña Sobre la Vigilancia y Monitoreo de Ozono Atmosférico y Radiación Ultravioleta en Colombia

6.1 El Protocolo de Montreal

En respuesta a la problemática mundial de la disminución del ozono estratosférico los países reunidos en la Convención de Viena, en marzo 22 de 1985 sobre la protección de la capa de ozono.

En sus apartes el protocolo de Montreal tiene como objetivos:

- Tomar medidas apropiadas para proteger la salud humana y el medio ambiente en contra de los efectos adversos que son resultado de las actividades humanas que modifican la capa de ozono.
- Reconocer que las emisiones mundiales de sustancias de origen antropogénico (*CFC, Halones, Tetracloruro de Carbono, Metyl cloroformo, etc.*) disminuyen la concentración de ozono atmosférico resultando en daños para la salud humana y el medio ambiente.
- Concientizar a los gobiernos del mundo de los potenciales efectos climáticos por la emisión de dichas sustancias.
- Tomar medidas para proteger la capa de ozono de su disminución, basadas en el conocimiento científico de la dinámica atmosférica, tomando así mismo en cuenta consideraciones técnicas y económicas.
- Eliminar la emisión de sustancias destructoras del ozono del desarrollo industrial, teniendo en cuenta las necesidades de progreso de los países en desarrollo.

- Promocionar la investigación y cooperación internacional para el desarrollo de tecnologías alternativas relacionadas con el control y reducción de emisiones de sustancias que destruyen la capa de ozono, teniendo en mente las necesidades particulares de los países.

6.2 Red Nacional de Estaciones de Radiación UV

El Centro Nacional de Radiación Solar, cuenta en la actualidad con cuatro 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 son:

Estación	Latitud	Longitud	Altura
Riohacha	11° 32' N	72° 56' W	4 m
Santa Fe Bogotá	04° 42' N	74° 09' W	2546 m
Pasto	01° 11' N	77° 18' W	2580 m
Leticia	04° 33' SUR	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 [31]:

Rango Espectral.	Longitud de onda (λ)
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 sobreexposiciones 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 305nm y en la región espectral de 340nm (*Fig.6-1*)

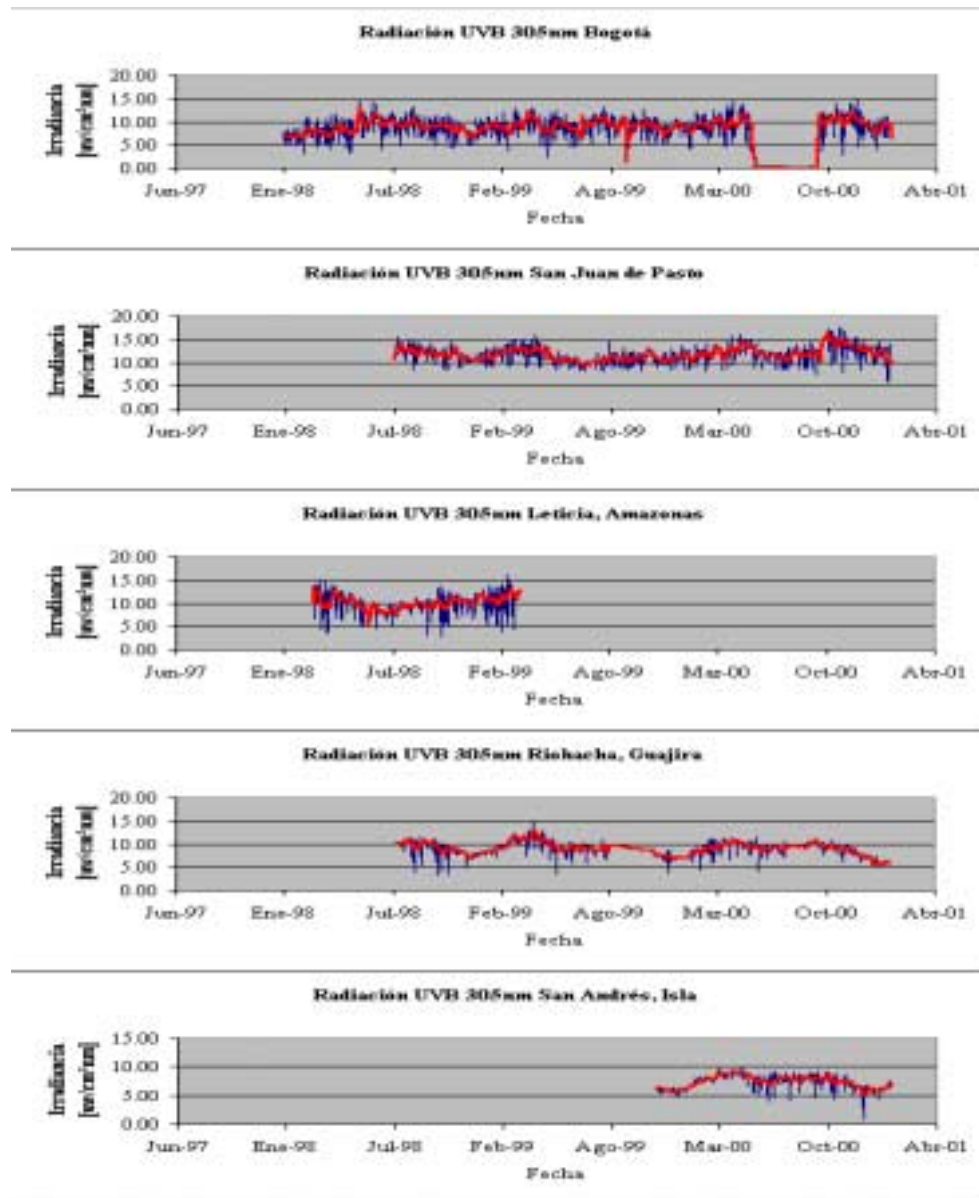


Figura 6-1: Series históricas de Irradiancia Ultravioleta, Bandas Espectrales alrededor de 305nm y 320nm de longitud de onda, sobre el territorio colombiano

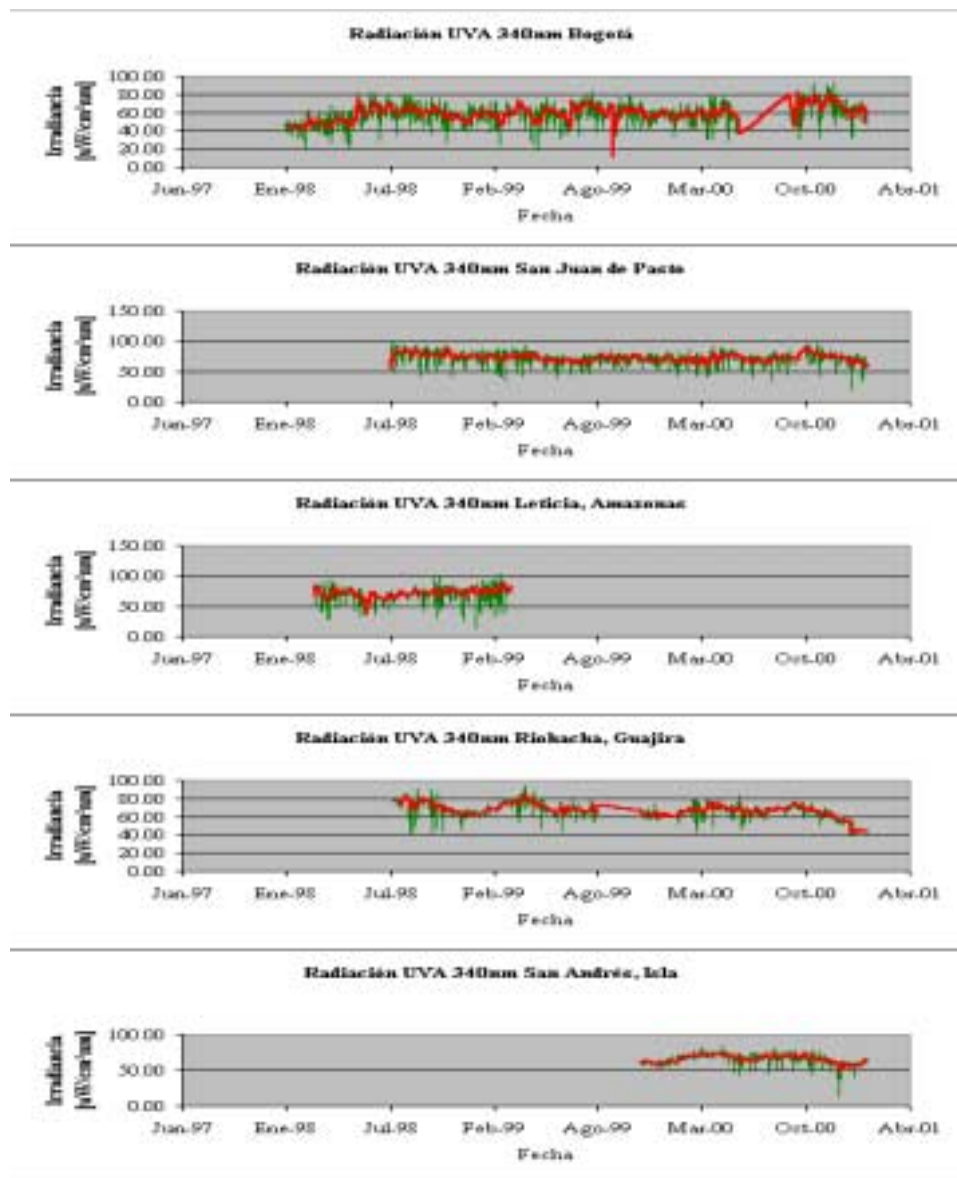


Figura 6-1: Series históricas de Irradiancia Ultravioleta, Bandas Espectrales alrededor de 305nm y 320nm de longitud de onda, sobre el territorio colombiano

6.3 Datos Satelitales de Ozono

Los datos a partir de los cuales se va a determinar el comportamiento del ozono, para una determinada región son obtenidos de la Agencia Norteamericana para la Aeronáutica y el Espacio, NASA, dentro de su publicación en Internet de la serie de datos históricos recolectados de la misión TOMS, específicamente para el territorio Colombiano.

Esta serie de tiempo aunque muestra periodicidad, también es influenciada por fenómenos climáticos de gran escala como el fenómeno del Niño. Debido a esta singularidad, se optó por determinar el comportamiento de la serie de tiempo por medio de una herramienta de análisis estadística: la media móvil tema que se ampliará en el capítulo 8.

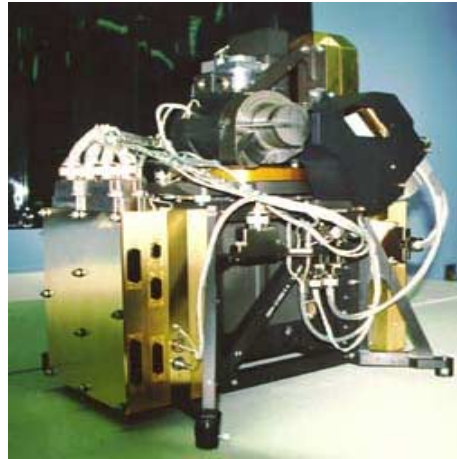
Capítulo 7

Metodología de Investigación

7.1 Conformación de la Base de Datos

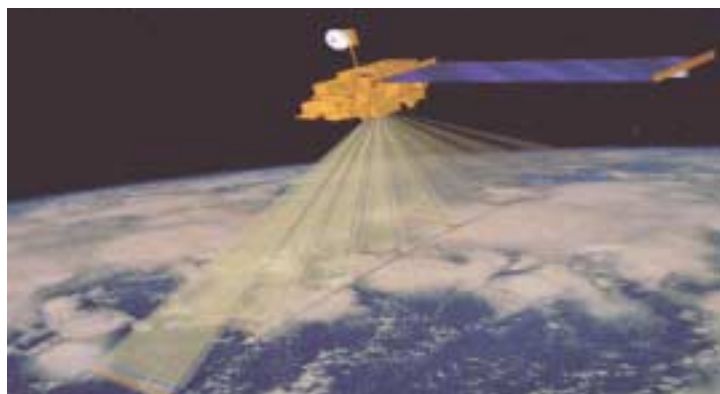
7.1.1 Descripción del Programa de Consulta TOMS y sus Aplicaciones

En la actualidad la herramienta informática nos ofrece un sinnúmero de posibilidades para adelantar cualquier tipo de investigación sin importar el campo de dicho estudio. Los datos a partir de los cuales se ha elaborado el siguiente proyecto fueron obtenidos de la Agencia Norteamericana para la Aeronáutica y el Espacio, NASA, dentro de su publicación en Internet de la serie de datos históricos recolectados de la misión TOMS. Dado el volumen de información con el que cuenta la NASA, y su complejo manejo se hace necesaria la creación de un programa de extracción, consulta y manejo de los datos correspondientes a la región geográfica donde se encuentra ubicada la República de Colombia. El Objetivo general de la creación del programa de consulta TOMS es dar acceso de manera sencilla a la consulta y actualización de los datos obtenidos de la serie histórica correspondiente a la NASA y su misión TOMS, posibilitando de esta manera el trabajo matemático en la consecución de los objetivos planteados durante la elaboración del estudio por parte del IDEAM y los realizadores.



7-1 Figura. Satélite Metereológico TOMS

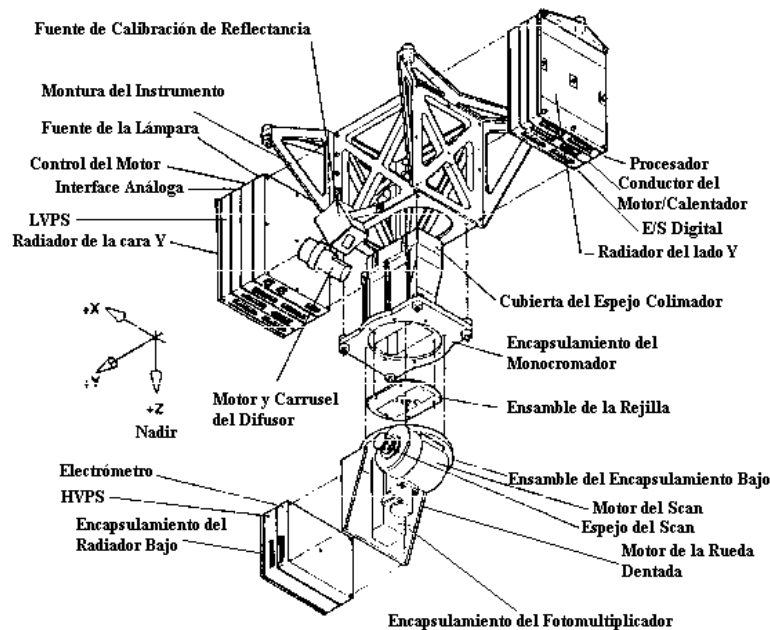
TOMS-EP es un monocromador Ebert-Fastie del tipo $f/5$ de rejilla simple con aberturas de salida múltiples para seis longitudes de onda diferentes. La figura debajo muestra un esquema del sistema óptico del TOMS-EP. Los valores de longitud de onda para los centros de banda nominales de las seis bandas espectrales son: 308.6, 312.5, 317.5, 322.3, 331.2, 360 nm y el ancho de banda nominal para cada una se encuentra alrededor de 1.2 nm. La longitud de onda se selecciona con una rueda dentada cerca de la hendidura de la lámina que abre el par de canales de entrada y salida para cada banda de la longitud de onda. El campo instantáneo de vista (IFOV) del TOMS-EP es $(3^\circ \times 3^\circ)$ el cual abarca un área proyectada de aproximadamente 42 km por 42 km directamente debajo del satélite que se encuentra a 800km de altitud. TOMS-EP examina ± 18 escenas desde el nadir en un intervalo de 3° para cubrir aproximadamente 2300 km de la huella recorrida. El eje del escáner es 45° con su normal y coincide con el eje óptico del sistema instrumental para que el ángulo de incidencia en el espejo del escáner sea constante sin tener en cuenta el ángulo examinado.



7-2 Fig. Recorrido del Satélite sobre la superficie terrestre

Un depolarizador se pone inmediatamente después del espejo del escáner para minimizar la sensibilidad a la polarización de la radiación entrante. Se utiliza una apertura cuadrada antes de la lente objetiva como diafragma. Detrás de la abertura de la salida existe un fotomultiplicador (PMT) con una montaje óptico cuyas imágenes se localizan hacia el fotocátodo del PMT. La visualización por el lente objetivo y el ensamble óptico de salida reduce el extravío no deseado en la medida. El instrumento mide las cuentas oscuras mientras que la rendija está cerrada y las cuentas oscuras se substraen en el rendimiento del instrumento.

TOMS-EP emplea un ensamble difusor para medir el flujo solar y usa tres facetas de calibración abordo. El ensamble difusor tiene tres superficies de aluminio, uno de los cuales se selecciona para ser iluminado por el sol. La superficie del difusor genera una fuente de radiancia proveniente de la irradiancia solar y la fuente radiante que llena el campo de vista del TOMS. Las otras dos superficies son menos frecuentemente usadas para minimizar la degradación de la vista solar. El monitor de la longitud de onda (WMON) se usa para supervisar un cambio de la longitud de onda de las bandas del TOMS-EP usando las líneas del mercurio en 296.7 nm. Dos aberturas de la entrada estrecha, ligeramente compensadas, son visualizadas sobre la rendija de salida de los 312.5 nm cuando la radiación en 296.7nm los ilumina. La rueda dentada selecciona una de las dos imágenes de la rendija de entrada alternadamente. Cualquier cambio de longitud de onda en el centro de banda debido al cambio de imagen en el plano de salida del monocromador puede ser descubierto comparando la intensidad relativa de las dos señales alternas. La calibración electrónica (ECAL) se usa para supervisar la ganancia de los amplificadores electrónicos. Una fuente de corriente de precisión inyecta una corriente a varios niveles diferentes al extremo delantero de la electrónica. La reflectancia de calibración (RCAL) ese usa para supervisar el reflectividad de las superficies del difusor.



7-3 Fig. Detalle del funcionamiento Óptico

El ensamble de calibración de (RCA), una fuente de luz para RCA, se hace de una lámpara de pluma de mercurio con un reflector que tiene una ventana cubierta con una mezcla de fósforo. Esta mezcla de fósforo produce emisiones espectrales de banda ancha alrededor del rango de longitud de onda del TOMS excitado la radiación ultravioleta del mercurio. Los espejos del escáner del TOMS, la ventana de la lámpara de la RCA y la superficie iluminada del difusor son iluminados alternadamente por la lámpara del RCA. La reflectancia relativa de las superficies del difusor se monitorea a través de la comparación de estas dos señales.

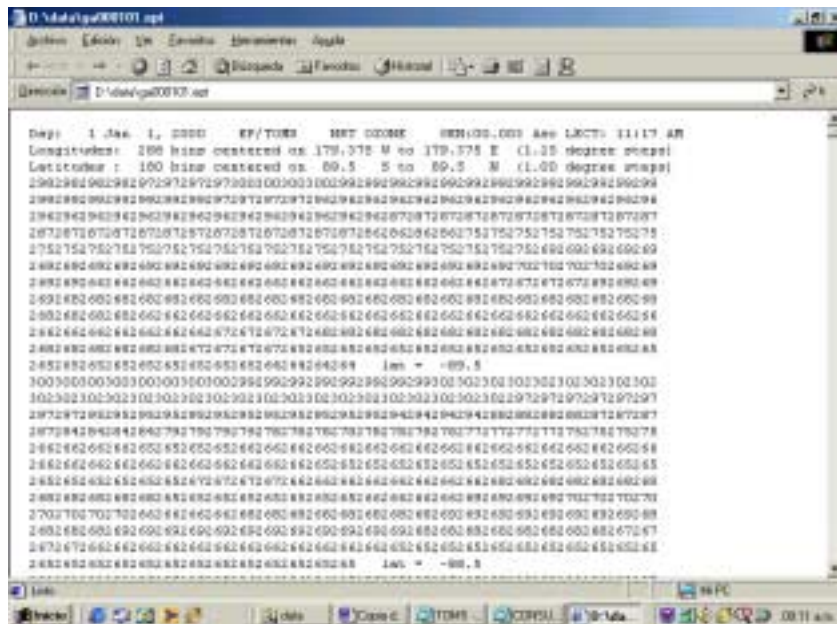
7.2 Monitoreo de Ozono a Través de Satélite.

La consulta de datos se origina en el satélite TOMS-EP, con el formato de consulta de datos presentados a través del sitio Web de la Agencia Americana para la Aeronáutica y Espacio, NASA, en un formato de lectura ASC II que es idéntico a la versión de software de CD-ROMS TOMS. Mediante “grillas”, hojas de campo para cada dato diario, en los diferentes rangos de latitud y longitud.

El archivo *rdgrid.for* contiene un buscador de datos en un lenguaje *Fortran*, para la rutina de lectura y descarga de datos que permite su lectura en la pagina Web. Los datos que se recolectan por barrido el satélite son tomados a partir del 1 de Enero/1997 por ello la base de datos elaborada para el IDEAM se definió a partir de esta fecha, hasta el 31 de Diciembre/2000 para el presente proyecto, esto justifica el uso de este Satélite ya que este contiene los valores de ozono en columna total y se presentan sin alteraciones climáticas a causa de dispersión por aerosoles.

7.3 Descripción de las Aplicaciones

Las hojas de campo “Grillas” básicamente por su formato de barrido de latitud y longitud degradándose de 1° en 1° para las latitudes de -89.5° hasta + 89.5° y para longitudes desde +179.375 ° hasta - 179.375° degradándose en unidades de 1.25° en 1.25. Por esto es necesario conocer los datos para cierto punto de latitud y longitud para que estos datos coincidan. Por ejemplo si se tiene una latitud de valor en número entero se debe tomar la latitud de 1.5° aumentado en el formato para tener el dato real de lectura de la pagina Web que es entero en su cifra decimal. A continuación se muestra un ejemplo de la estructura de los archivos de datos recolectados mediante el programa de cómputo.



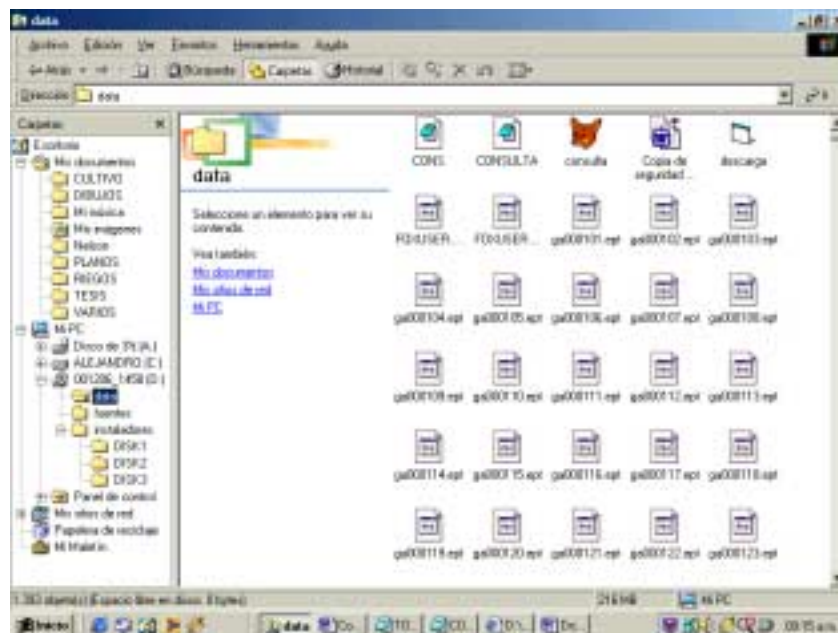
7-4 Fig. Presentación de hojas de campo para datos acumulados de ozono (Grillas)

7.3.1 Descripción de la Instalación para el Programa de Consulta TOMS.

La elaboración de los programas de consulta y la base de datos para el IDEAM a partir de 01-01-97 se logró gracias a la colaboración de especialistas en el campo de programación. Para un funcionamiento correcto de los programas de consulta se requiere una capacidad de memoria en el disco del computador a instalar de 500MB, con ciertas características en su capacidad de memoria RAM y Velocidad en el procesador.

Para el funcionamiento e instalación de los programas se deben seguir los siguientes pasos y recomendaciones:

1. El archivo matriz de datos es DATA, este se encuentra alojado en un CD contenedor del programa en la unidad D: , se copia toda la carpeta DATA en el disco duro C: , para luego realizar la instalación de los programas DISK 1 (Setup-Instaladores) y Setup Visual Fox 1.3.



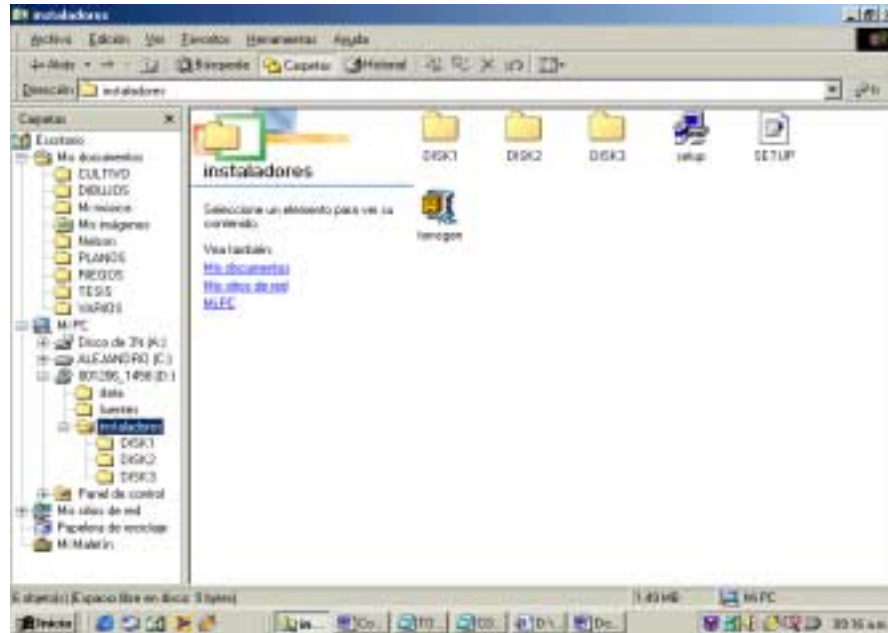
7-5 Fig. Pantalla del archivo matriz DATA

Básicamente al copiar Data se copia un total de 180 datos tomados al día por el satélite por las 288 longitudes y latitudes con un total de (51.840) datos diarios, de lo que resulta para los tres años (1997 – 2000) un total de (55' 764.800) datos, de allí surge la expectativa y la creación del programa de consulta para extraer los datos necesarios para las coordenadas Colombianas en el rango de latitud (-4.5° a -14.5°) y longitud (-81.875° a -65.625°) grados, que contiene alrededor de 307.000 datos.

2. Posteriormente se ejecuta la instalación del programa de consulta Visual Fox que es el responsable de extraer de cada serie de grillas el dato correspondiente a la consulta, ejecutándose la instalación de DISK 1 y el botón de acceso así en pocos minutos se instala el programa. No es necesario cambiar o crear carpetas ya que los programas realizan esa operación creando una carpeta en C: que almacena toda la información llamada data:

3. Se debe revisar:
 - El formato inicial de tiempo por configuración del panel del control por configuración regional en el formato dd/mm/aa.
 - Instalar primero el Data en C: y luego realizar la instalación de los programas instaladores.
 - Al copiar toda la información se entra a Data donde se encuentran todos los formatos de programas y carpetas para cada día con sus respectivas grillas, se debe entonces seleccionar todo el archivo y se verifica por propiedades que no este activado el formato de solo lectura de lo contrario la información no se puede observar en el programa de Excel.

4. **Consulta:** este programa se instala mediante el instalador de TOMS esto se lleva a cabo en la carpeta de instalación allí se realiza automáticamente la instalación, posteriormente se debe reiniciar el equipo para la instalación de este, este programa se encarga de generar las direcciones para actualizar la base de datos de acuerdo a las fechas dadas.



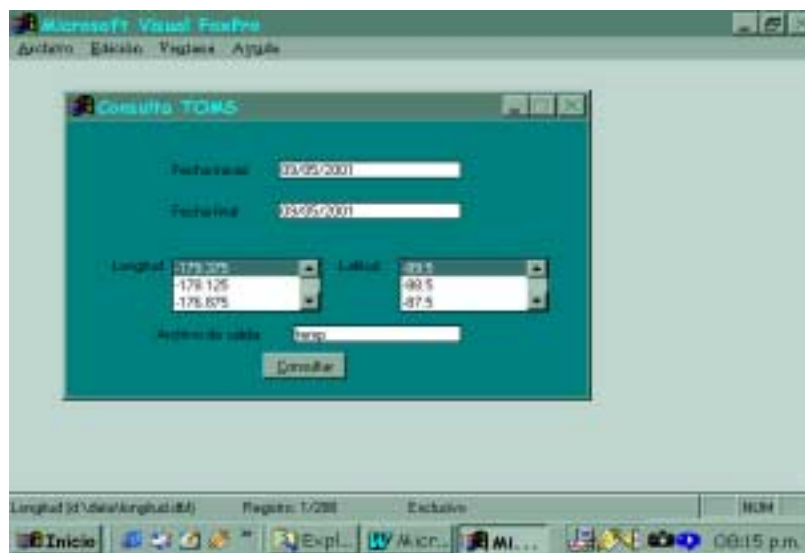
7-6 Fig. Pantalla de Carpetas instaladoras

5. Existe también una carpeta denominada fuentes que hace referencia a los lenguajes de programación para realizar la ejecución de los programas y así los programadores de sistemas realicen las modificaciones o los ajustes necesarios para las aplicaciones requeridas por el IDEAM o ampliar la funcionalidad de los programas.

Al instalar los programas se da la opción de llamar la información en el modo de consulta Visual Fox que muestra los rangos de coordenadas latitud (-89.5° a 89.5°) y longitud (-179.375° a 179.375°) y muestra esa información como un archivo temporal de extensión *.Temp* y una carpeta a la cual se le da un nombre así *ga(día.mes.año)* y se abre en la hoja de calculo Excel versión 3.1 con la totalidad de los datos como se puede observar en el anexo. Además se cuenta con un programa en Visual Basic 6.0 que de acuerdo a la fecha genera un archivo (Shell) con las direcciones para bajar y actualizar la sección de datos al estar conectados con la pagina Web de Internet llevando el dato de dirección (copiando – cortando) a un navegador y esto actualiza la base de datos en un máximo de 150 archivos. El procedimiento para instalar y manipular el programa de cómputo se lista a continuación:

- Verificar ficha del archivo propiedades (sin icono de lectura)
- Ejecutar los programas instaladores
- Copiar y pegar Data:/d en C:/: Data

- Dar nombre a los temporales con referencia de las coordenadas y así abrir Data general en el archivo generado en Excel usando el explorador de Windows.
- Se recomienda eliminar los archivos temporales creados en cada consulta para evitar ocupar mucha memoria y hacer el proceso lento.
- En el manejo de fecha el buscador de Fox debe especificar cuantos días se desean consultar.
- El buscador de Fox al realizar la consulta del rango o puntos a descargar tiene una secuencia de búsqueda para llamar cada grilla, así se desee buscar un solo dato de allí la importancia de eliminar los temporales (*.Temp*) y para generar la búsqueda el programa genera un ciclo intermitente por cada dato descargado. El tiempo de consulta depende directamente de la calidad y capacidad del computador empleado.



7-7 Fig. Pantalla de Buscador en Visual Fox

7.4 Actualización de la Base de Datos

Como se realiza la base de datos hasta el 31 de Diciembre del 2000 para actualizar la información es necesario utilizar un navegador oficial e identificable por el módem de la NASA

para así permitir el acceso a la información como se muestra en la información técnica de la aplicación:

<ftp://toms.gsfc.nasa.gov/pub/eptoms/data/021998/ga980306.ept>

De otra forma puede usarse a el programa de consulta de descarga elaborado introduciendo el dato de la fecha para generar la dirección, esta dirección se copia en cualquier navegador en Internet y se recibe acceso a la grilla, específicamente esta se copia y se guarda con extensión *.ept* ejemplo *ga980306.ep* y se copia dentro de C:/Data. Allí se encuentran los archivos actualizados que se pueden leer y descargar igualmente. Si existe algún problema se pueden actualizar empleando MS DOS y con la extensión: (*C:/Data//data>ren ga980306_ept.htm ga980306.ept*) así se cambian o renombran los archivos con esta extensión para que así el buscador de Fox identifique la grilla y se bajen los datos, el sistema así pasa al modo de lectura de Internet– Explorer a Excel directamente.

7.5 Propiedades de la Base de Datos para Colombia

1. La base de datos se encuentra actualizada y ordenada de longitud descendente con un formato de fecha y la lectura de columna total de ozono en unidades Dobson.
2. Se encuentra grabada toda la información en medio magnético de CD-ROM en un total de 500Mb donde se encuentra la base matriz Data de Toms para todas las latitudes y longitudes desde el periodo (1997-2000). Se encuentran además copia de los instaladores en una carpeta de instalación del informe y de las fuentes de programación.
3. Se presentan las tablas dinámicas con los datos mensuales y multianuales promedios con sus respectivos mapas para Colombia de la columna total de ozono.
4. No se encuentran datos en la pagina Web de TOMS por errores de lectura del satélite para los siguientes días:
 - 13-Dic-99-- 03-Enero-2000
 - 01-Ene-99 – 03-Ene – 1999
 - 17-Nov-97 – 18-Nov-1997

5. Se encontraron las tablas mensuales y multianuales para las coordenadas correspondientes a las siguientes capitales de Colombia ausentes en el IDEAM para completar el área del territorio nacional objeto de estudio.
6. Se tiene en formato de Winzip copia de los instaladores y carpetas de Toms. Df, Consulta. Df, Doc. Html

7.6 Descripción Técnica de las Aplicaciones

La información diaria acerca del estado de la capa de ozono se encuentra en el servidor *ftp* de la Nasa y puede ser descargado de la dirección:

<ftp://toms.gsfc.nasa.gov/pub/eptoms/data/ozAÑO/gaFECHA.ept>

Es decir por cada día se encuentra un archivo *.ept* en el directorio correspondiente al año del archivo y el archivo se llama como la fecha del mismo precedida por un *ga* y con un *.ept* como extensión. Por ejemplo: el archivo con la información de ozono del día *6 de marzo de 1998* estará en el directorio *oz1998* y se llamara *ga980306.ept*, por tanto, para descargarlo se debe ir a la dirección:

<ftp://toms.gsfc.nasa.gov/pub/eptoms/data/oz1998/ga980306.ept>.

Un archivo *ept*, por cada día. Cada uno de ellos contiene el dato de ozono para todas las latitudes y longitudes de la tierra partiendo desde -89.5° para latitudes hasta 89.5° incrementándose de 1° en 1° . Para longitudes el valor inicial es -179.375° hasta 179.375° , incrementándose unidades de 1.25° en 1.25° . Cada dato es una terna de números que indica el valor de ozono para cada longitud, partiendo desde -179.375 en adelante sumando 1.25 por cada dato. Por ejemplo:

```
Day: 10 Jan 10, 2000      EP/TOMS      NRT OZONE      GEN:00.012 Asc LECT: 11:17 AM
Longitudes: 288 bins centered on 179.375 W to 179.375 E (1.25 degree steps)
Latitudes : 180 bins centered on 89.5 S to 89.5 N (1.00 degree steps)
289287289289294294294294294294294294294294294294294294294294294294294294294294294
294294293.....
```

Significa que para la latitud -89.5° el día 10 de enero de 2000 se obtienen valor de 289 para la longitud -179.375° , de 287 para la longitud -178.125° y así sucesivamente.

7.6.1 APLICACIONES

- ***Descarga.exe*** : Aplicación desarrollada utilizando MS Visual Basic 6.0 Se utiliza para generar scripts de linux que permiten descargar un lote grande (Máximo 150) de archivos del servidor ftp. Con base en un rango de fechas crea un archivo con las direcciones exactas de donde se debe bajar la información.
- ***Toms.exe*** : Aplicación desarrollada usando Lenguaje C. Se utiliza para tomar el contenido de un archivo .ept e interpretarlo para convertirlo en un archivo temporal con la misma información que el ept pero organizada para poder migrarla a una base de datos.
- ***Consulta.exe*** : Aplicación desarrollada usando Visual Foxpro, recibe un rango de fechas, una latitud y una longitud y genera un documento de Excel con la información tomada de los archivos. Hace uso de la aplicación explicada en el párrafo anterior.

Capítulo 8

Metodología de Investigación para el Calculo de Índices Ambientales UV

8.1 INDICES UV

La definición de indicador ambiental no resulta fácil si se tiene en cuenta que casi cualquier parámetro estadístico asociado a fenómenos ambientales, posee las cualidades necesarias para transformarse en un indicador ambiental, es decir en un dato que provee una información sintética respecto a un fenómeno ambiental de relevancia. Un *Indicador Ambiental* es por tanto, una variable que ha sido dotada de un significado derivado de su configuración científica, con el fin de reflejar de forma resumida una preocupación respecto al medio ambiente e insertarla coherente mente en el proceso de toma de decisiones.

Los " INDICES UV" son valores adimensionales en una escala de 1 a 15 aproximadamente, que describen la capacidad de la radiación ultravioleta de causar quemaduras o erytemas en la piel y determinan el tiempo permisible de exposición a la radiación solar, sin riesgos de afección para diferentes tipos de piel. Los índices son indicativos del medio ambiente de gran beneficio para la población, por que proporcionan la información básica para determinar mecanismos de protección contra la radiación solar.

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

Escala de Índices	Riesgo en Nivel de Exposición
0-2	Mínimo
3-4	Bajo
5-6	Moderado
7-9	Alto
+10	Muy Alto

8.2 DETERMINACIÓN DE LOS INDICES 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:

$$Dg=a_1E_{305}+a_2E_{320}+a_3E_{340}$$

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 espectroradiómetro Biospherical GUV-511, en las bandas de 305nm, 320nm y 340nm de longitud de onda. Los valores Dg encontrados con el modelo fueron correlacionados con los índices de la EPA y arrojando 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 similares a los utilizados por los investigadores citados con las mismas bandas espectrales 305, 320 y 340 nm.

8.3 UTILIZACIÓN DE LOS INDICES UV

El conocimiento del índice UV hace posible que la población en general pueda cuidar su comportamiento de acuerdo al 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 a 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 ésta ante la radiación solar. Los tipos de piel se han clasificado:

Simbolo	Fototipos de piel	Comportamiento 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

8-1 Tabla de Comportamiento según Fototipo de Piel

De acuerdo a 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. La Agencia Americana para la protección del medio ambiente los valores de estas dosis son:

Símbolo	Fototipo de Piel	Dosis Mínima para producir Enrojecimiento
A	Nunca se broncea/ siempre se quema	10-30 mJ/cm ²
B	Algunas veces se broncea/ Usualmente se quema	30-50 mJ/cm ²
C	Usualmente se broncea/ algunas veces se quema	50-75 mJ/cm ²
D	Siempre se broncea/ rara vez se quema	75-120 mJ/cm ²

8-2 Tabla de Dosis Mínima para producir enrojecimiento según Fototipo de Piel

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 a este procedimiento los rangos de exposición para dos de los diferentes tipos de piel son:

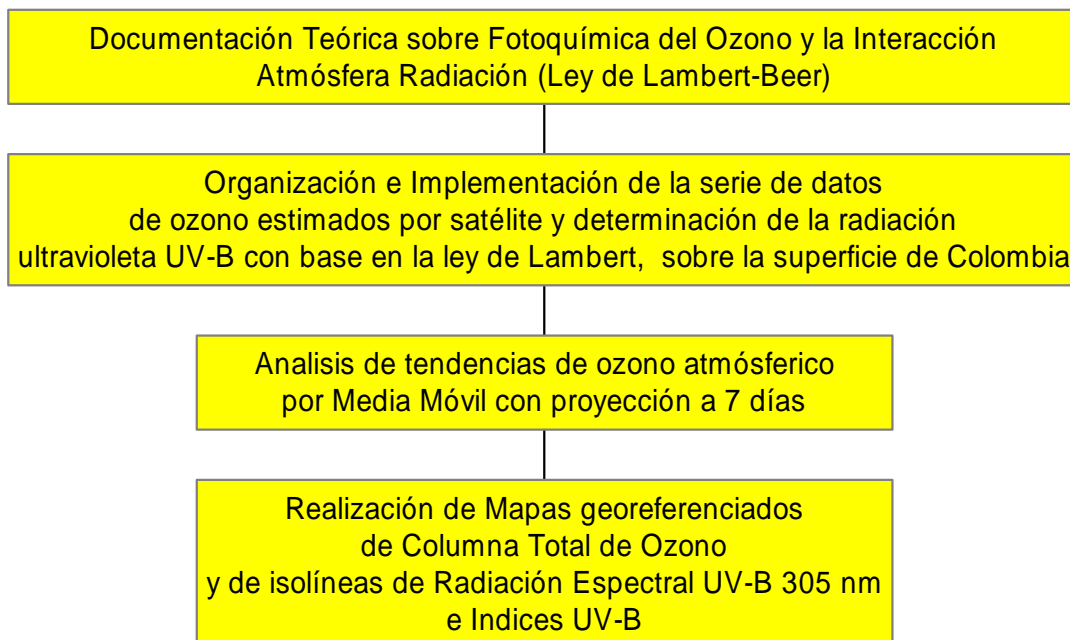
Categoría de Exposición/ Valor de índice	Tiempo de Exposición [min.]	
	Piel tipo A (más susceptible)	Piel tipo D (menos susceptible)
Mínima 0-2	30 minutos	> 120 minutos
Baja 3 4	20 minutos 15 minutos	90 minutos 75 minutos
Moderada 5 6	12 minutos 10 minutos	60 minutos 50 minutos
Alta 7 8 9	8.5 minutos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

8-3 Tabla de Tiempo de Exposición para Piel Tipo A y D según categoría del Índice

Capítulo 9

Metodología Empleada para el Análisis de Tendencias de Ozono Total y Cálculo de Radiación Espectral UV-B

El desarrollo del trabajo de investigación implicó el estudio e implementación de una metodología científica con el objeto de determinar el comportamiento de la columna total de ozono sobre el territorio colombiano. A partir de dicha información, se determina a su vez la irradiancia espectral sobre la superficie considerando la interacción sufrida por la radiación en su paso a través de la atmósfera, así como la geomorfología del país. A continuación se presenta un cuadro de resumen de los pasos metodológicos llevados a cabo dentro del proyecto.



9-1 Diagrama de Flujo para metodología empleada en el análisis de tendencias de ozono total y cálculo de radiación espectral UV-B

9.1 Metodología Utilizada para la Obtención de Datos de Ozono Estimados por Satélite

- Elaboración de un Software para extraer y compilar los datos medidos por satélite dispuestos en Grillas, ubicadas en la página de Internet correspondiente a la Misión meteorológica de la NASA (TOMS).
- Se tomaron los datos de 280 puntos de coordenadas geográficas correspondientes al territorio Colombiano y se creó la base de datos necesaria para el estudio.
- Se tomaron todos los datos diarios desde el 1 de Enero de 1997 hasta el mes de Diciembre del 2000.
- Se determinaron los promedios mensuales de los valores diarios de ozono para cada uno de los años en estudio (1997-2000)
- Se determinaron los promedios mensuales multianuales de la serie de datos tomados para las coordenadas Colombianas.
- Con los promedios multianuales se elaboraron los 13 Mapas correspondientes a los 12 meses y 1 Mapa correspondiente al promedio Multianual.
- Para la elaboración de los mapas se utilizó el paquete de Software SURFER actualmente empleado por el IDEAM.

9.2 Metodología Utilizada para la Determinación de Radiación Ultravioleta B a partir de la Columna Total de Ozono Medida por Satélite

9.2.1 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 [9]:

$$I_b = I_n \cos\theta_z + I_d \quad (9.1)$$

Donde

I_n es la irradiancia espectral directa

I_d es la irradiancia espectral difusa

θ_z es el ángulo cenital

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

$$I_d = I_{dr} + I_{da} + I_{dm} \quad (9.2)$$

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, y

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 [16]:

$$I_d = E_0 \cos \theta_z \cdot I_{\lambda 0} \tau_r \tau_o \tau_a \quad (9.3)$$

Donde:

$I_{\lambda 0}$ es la constante solar para la longitud de onda

E_0 el factor de corrección por excentricidad,

$\tau_r = e^{-0.008735\lambda^{-4.08}m_a}$ la transmitancia de la radiación debida a la dispersión de Rayleigh por moléculas de aire

$$\tau_o = 1 - \left[0.1611U_3(1 + 139.48U_3)^{-0.3035} - 0.002715U_3(1 + 0.044U_3 + 0.0003U_3^2)^{-1} \right]$$

es la transmitancia de la radiación debido a la absorción por el ozono con $U_3 = \frac{\Omega}{1000} \cdot m_r$

Para la transmitancia de la radiación debida a la atenuación por los aerosoles τ_a , se utiliza la ecuación propuesta por Ångström [16]:

$$\tau_{a\lambda} = e^{\beta \cdot \lambda^{-\alpha}} \quad (9.4)$$

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

$$m_a = m_r * \frac{P}{1013.25}; \quad (9.5)$$

$$m_a = \left[\cos \theta_z + 0.15(93.885 - \theta_z)^{-1.253} \right]^{-1} \quad (9.6)$$

Para el cálculo de la irradiancia global total es necesario determinar con anterioridad de acuerdo a la posición geográfica para cada día del año¹ [26]:

El ángulo orbital:

$$\alpha_{orb} = \frac{2\pi(nd - 1)}{365} \quad (9.7)$$

La declinación solar:

$$\delta = 0.006918 - 0.399912 \cos \alpha_{orb} + 0.070257 \sin \alpha_{orb} - 0.006758 \cos 2\alpha_{orb} + 0.000907 \sin 2\alpha_{orb} - 0.00269 \cos 3\alpha_{orb} + 0.00148 \sin 3\alpha_{orb} \quad (9.8)$$

La corrección por excentricidad de la órbita:

$$E_o = 1.00011 + 0.034221 \cos \alpha_{orb} + 0.00128 \sin \alpha_{orb} + 0.000719 \cos 2\alpha_{orb} + 0.000077 \sin 2\alpha_{orb}$$

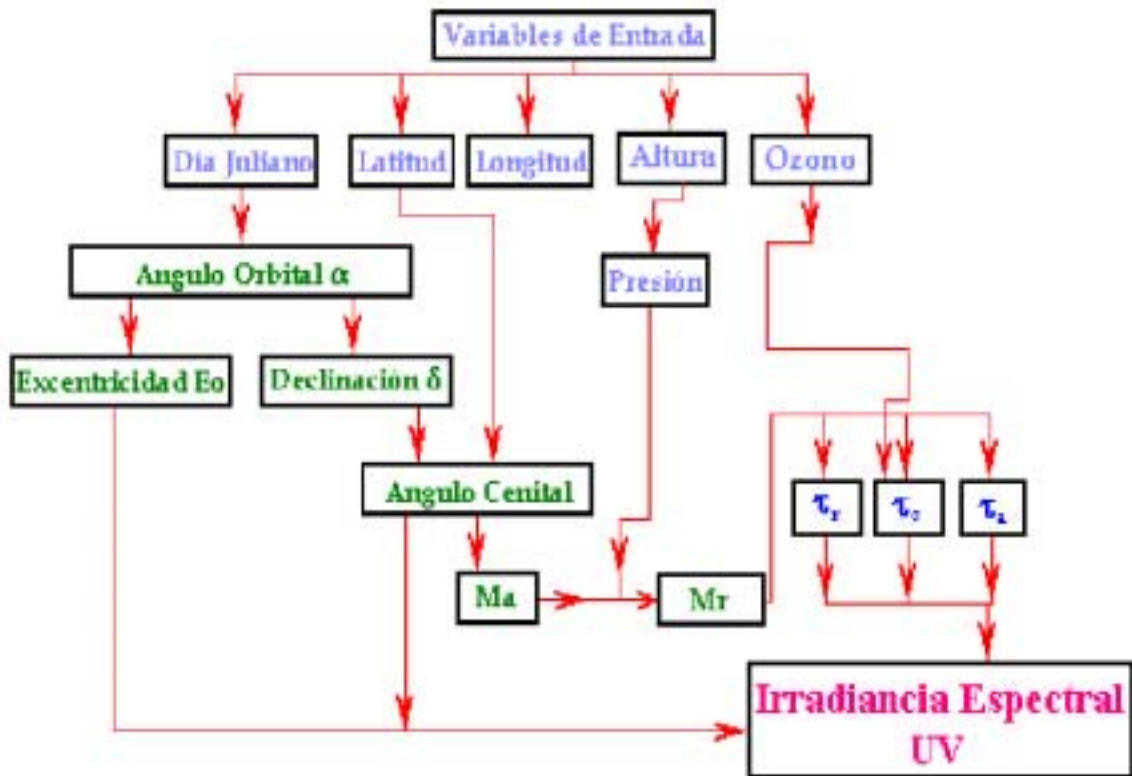
¹ Latitud (ϕ) y Longitud (L_s)

donde (5.7) y (5.8) son series de Fourier desarrolladas por Spencer para el movimiento aparente del sol para cada día del año [16] y con base en este el ángulo cenital:

$$\cos\theta_z = \text{sen}\varphi \cdot \text{sen}\delta + \cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \cos W \quad (5.11)$$

Con base en lo anterior se determina solamente la radiación espectral instantánea, para las longitudes de onda 305nm, 320nm, 340nm, tomando como referencia el mediodía para el cálculo del ángulo horario. El siguiente diagrama de flujo (Fig. 5-1), muestra el desarrollo conceptual del programa de cómputo para el cálculo numérico de la irradiancia espectral para las tres longitudes de onda con el fin de determinar finalmente el índice UV.

Figura 9-2. Diagrama de Flujo, Modelo de Irradiancia Espectral UV



Capítulo 10

RESULTADOS

Tomando la serie histórica de Columna Total de Ozono extraída por Internet para el período correspondiente entre los años 1997-2000, se procedió a los cálculos de los promedios mensuales para cada mes del año, así como el cálculo del promedio multianual de la serie. Así mismo con base en los promedios mensuales tomando un día representativo para cada mes, se calculó la irradiancia espectral para las bandas de 305nm, 320nm, 340nm, alrededor del mediodía, y a partir de la ecuación multilineal se determinó para el territorio nacional las isolíneas de índice UV. A continuación se mostrarán los resultados obtenidos, resumidos en forma gráfica a través de mapas georeferenciados sobre el territorio colombiano.

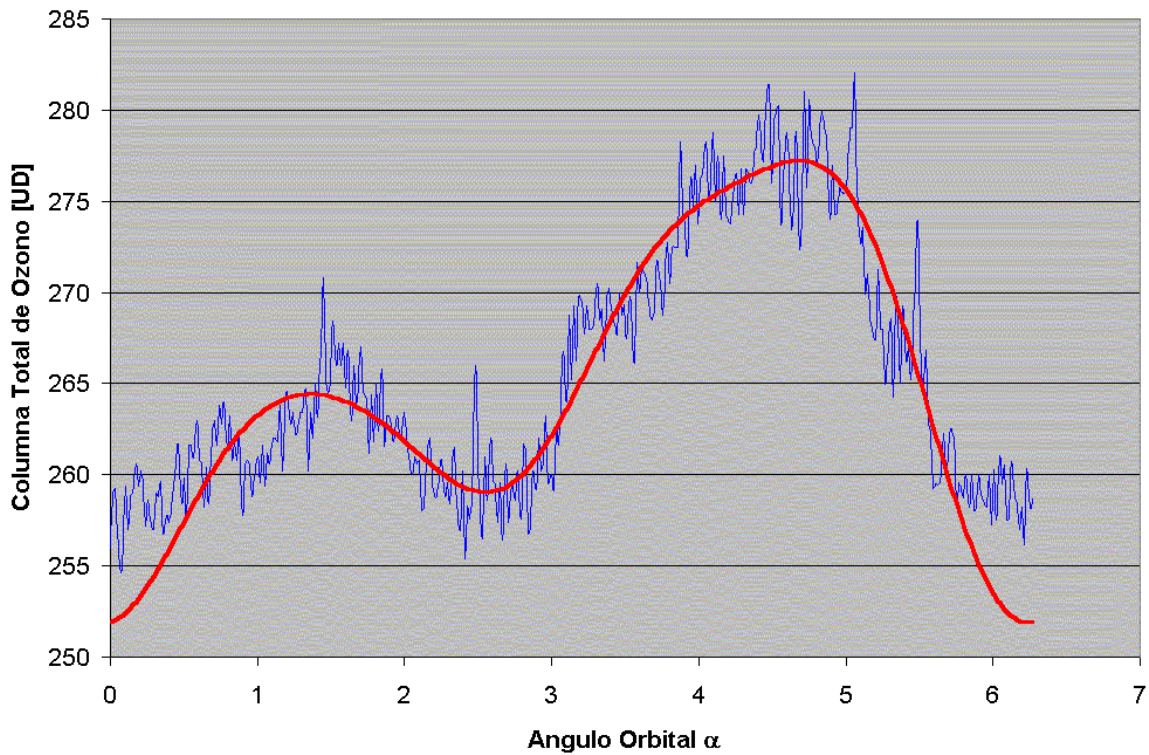
10.1 Patrones de Distribución de Ozono por Ciudades

Analizando los puntos sobre los cuales existe información medida en las estaciones de Radiación Ultravioleta sobre el País, se determinó el comportamiento anual del Ozono en un Perfil Latitudinal, que permite la comparación de la columna total de Ozono y la Irradiancia Ultravioleta medida en tierra para las cinco ciudades.

10.1.1 LETICIA:

- El comportamiento del ozono para la ciudad de Leticia presenta un Patrón Bimodal de distribución presentando sus valores máximos en los meses de *Marzo – Abril* y *Septiembre – Octubre*; los valores mínimos en los meses de *Mayo – Junio* y *Diciembre – Enero*.

Serie de Fourier para la Columna Total de Ozono sobre Leticia, Amazonas



- Los valores Máximos de las concentraciones presentadas en la ciudad comprenden los siguientes valores:

Máximos:

Marzo – Abril: 274 UD

Septiembre – Octubre: 291 UD

Mínimos:

Mayo – Junio: 252 UD

Diciembre – Enero: 249 UD

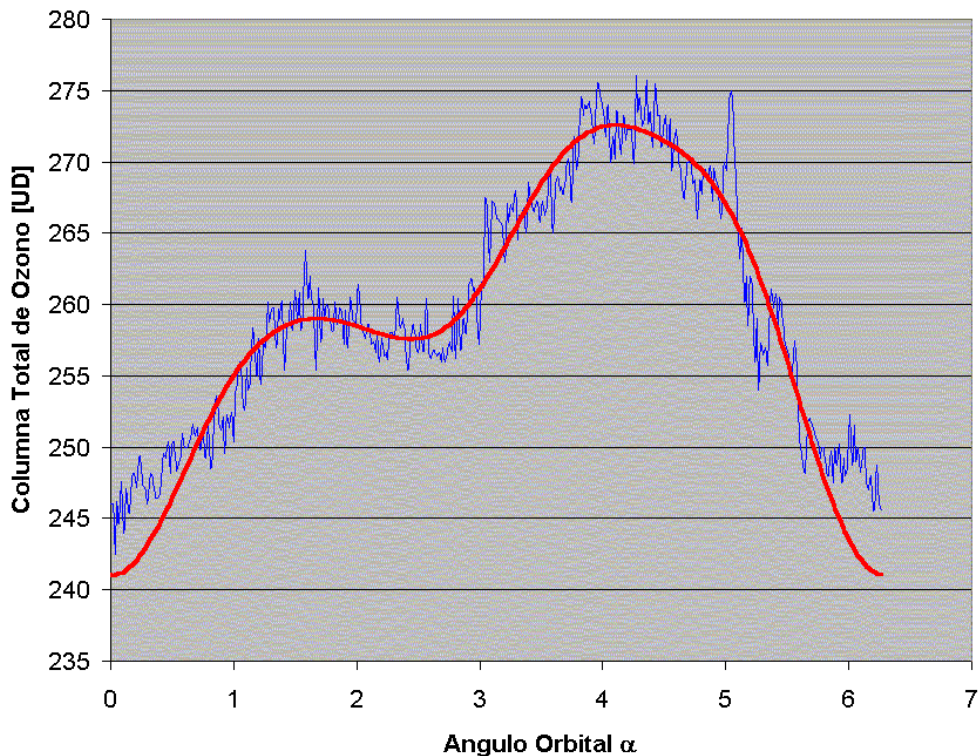
- Los valores de las concentraciones son menores para el primer semestre del año comprendiendo un rango de entre: 252 UD – 274 UD
- Para el segundo semestre se presenta un rango de valores diferentes al primer semestre siendo estos entre: 249 UD – 291 UD

- Los valores estimados fueron calculados con base en el promedio histórico diario de ozono atmosférico comprendido para El periodo de estudio entre los años (1997–2000)

10.1.2 PASTO:

- El comportamiento del ozono para la ciudad de Pasto presenta un Patrón Bimodal de distribución presentando sus valores máximos en los meses de *Marzo – Abril* y *Agosto – Octubre*; los valores mínimos en los meses de *Mayo – Junio* y *Diciembre*.

Serie de Fourier para la Columna Total de Ozono, sobre San Juan de Pasto



- Los valores Máximos de las concentraciones presentadas en la ciudad comprenden los siguientes valores:

Máximos:

Marzo – Abril: 267 UD

Agosto – Octubre: 280 UD

Mínimos:

Mayo – Junio: 255 UD

Diciembre : 239 UD

- Los valores de las concentraciones son menores para El primer semestre del año comprendiendo un rango de entre: 244 UD – 267 UD
- Para el segundo semestre se presenta un rango de valores diferentes al primer semestre siendo estos entre: 255 UD en el mes de Junio – 280 UD en el mes de Agosto y 239 UD en el mes de Diciembre.
- Los valores estimados fueron calculados con base en el promedio histórico diario de ozono atmosférico comprendido para El periodo de estudio entre los años (1997 – 2000)

10.1.3 BOGOTA:

- El comportamiento del ozono para la ciudad de Bogotá presenta cambios en el Patrón, exhibiendo una tendencia más de tipo Monomodal de comportamiento durante el año, presentando sus valores máximos en el mes de ***Septiembre***; los valores mínimos en los meses de ***Diciembre y Enero***.
- Los valores Máximos de las concentraciones presentadas en la ciudad comprenden los siguientes valores:

Máximos:

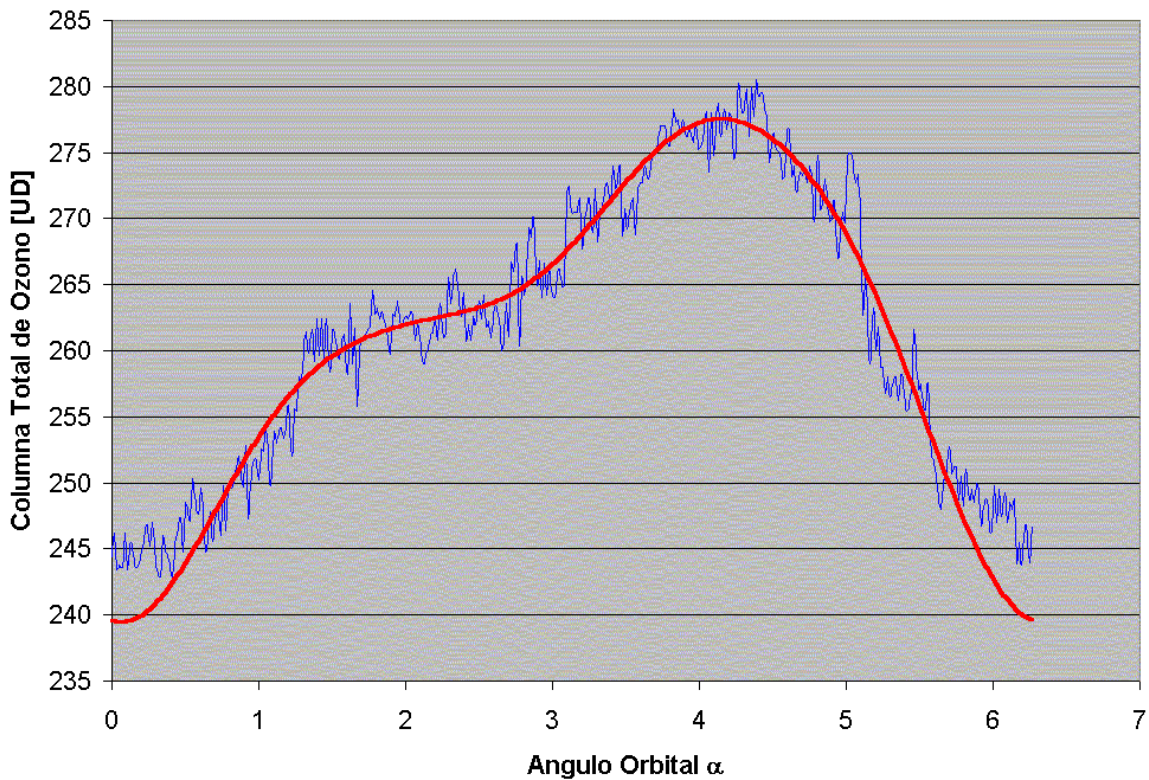
Septiembre: 280 UD

Mínimos:

Enero: 243 UD

Diciembre : 238 UD

Serie de Fourier para la Columna Total de Ozono sobre Bogotá D.C.



- Los valores de las concentraciones dado el comportamiento de tipo Monomodal en la distribución del ozono podemos estimar un rango de valores entre: 243 UD – 280 UD
- El comportamiento presenta un punto de inflexión presente hacia El mes de Mayo (263 UD) donde no hay decrecimiento en los valores, sino que por el contrario los valores de las concentraciones se estabilizan para posteriormente aumentar hasta su máximo.

10.1.4 RIOHACHA:

- El comportamiento del ozono para la ciudad de Riohacha presenta un Patrón Monomodal de distribución presentando sus valores máximos en los meses de **Agosto**; los valores mínimos en los meses de **Diciembre – Enero**.
- Los valores Máximos de las concentraciones presentadas en la ciudad comprenden los siguientes valores:

Máximos:

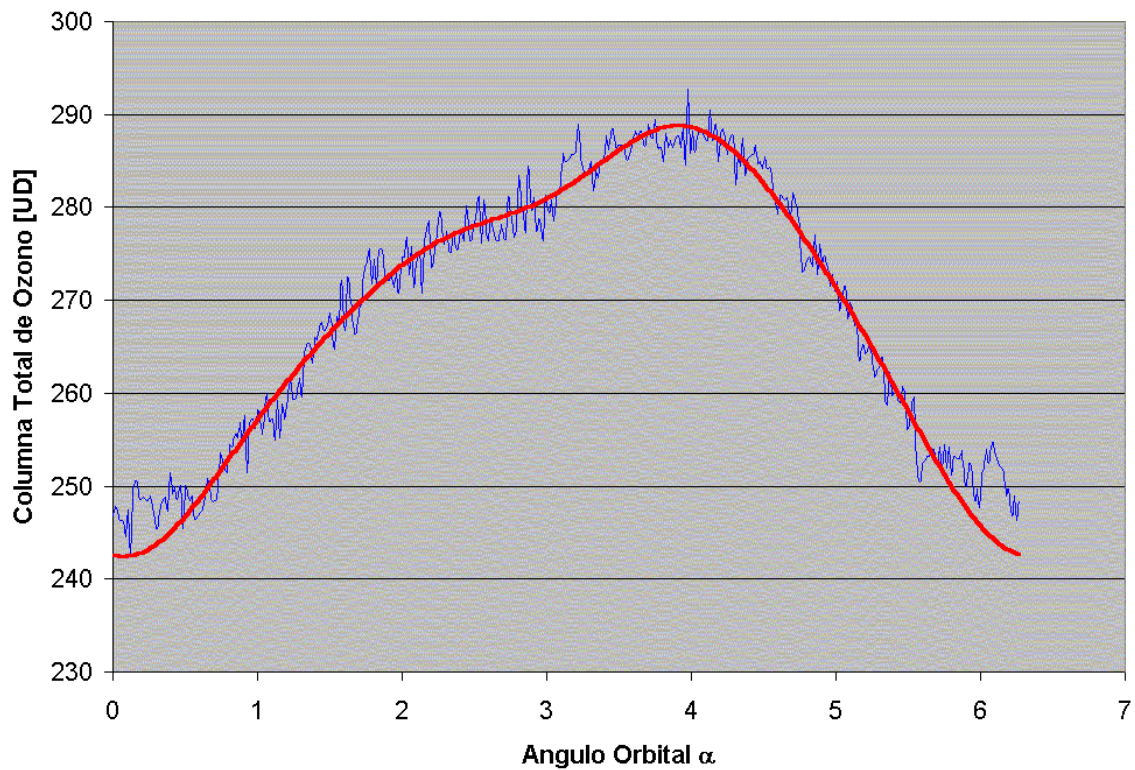
Agosto: 291 UD

Mínimos:

Diciembre: 243 UD

Enero: 240 UD

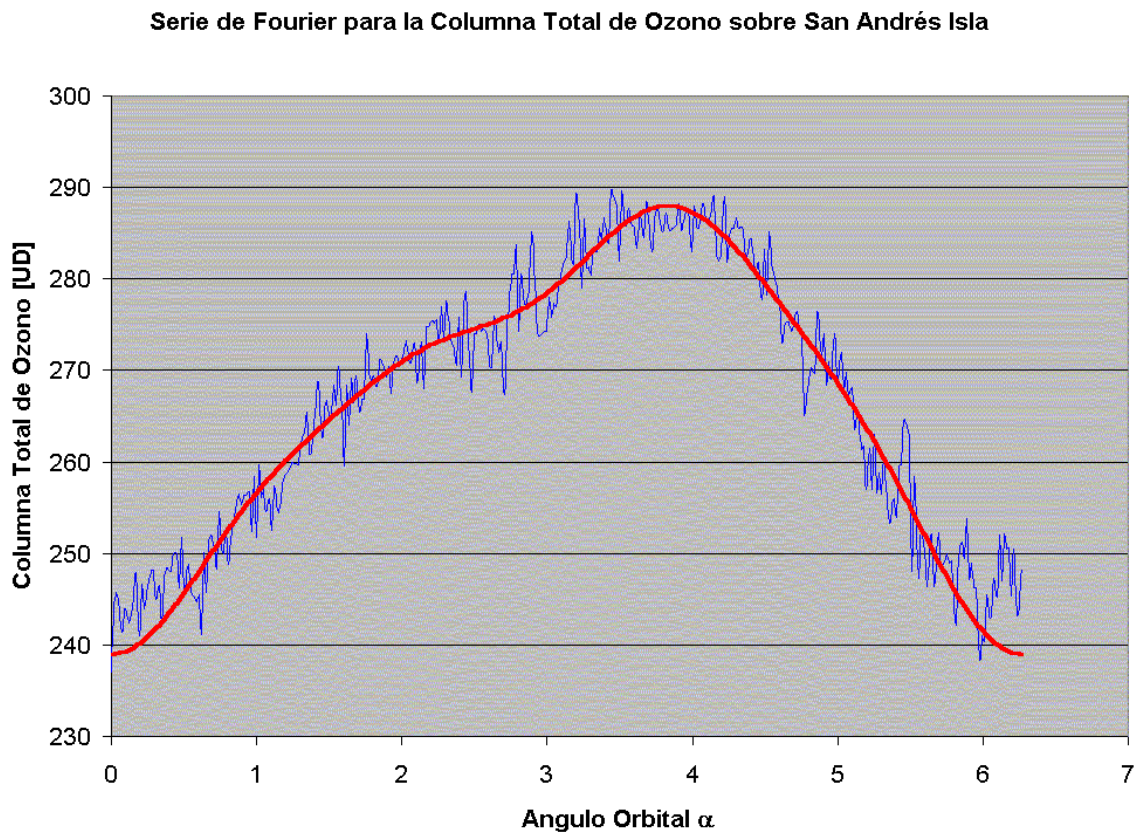
Promedio Diario de la Columna Total de Ozono Riohacha, Guajira



- Los valores de las concentraciones dado el comportamiento de tipo Monomodal en la distribución del ozono podemos estimar un rango de valores entre: 240 UD – 291 UD

10.1.5 SAN ANDRES:

- El comportamiento del ozono para la ciudad de San Andrés presenta un Patrón Monomodal de distribución presentando sus valores máximos en los meses de **Agosto**; los valores mínimos en los meses de **Diciembre – Enero**, presentando un comportamiento muy similar al presentado en la ciudad de Riohacha.



- Los valores Máximos de las concentraciones presentadas en la ciudad comprenden los siguientes valores:

Máximos:

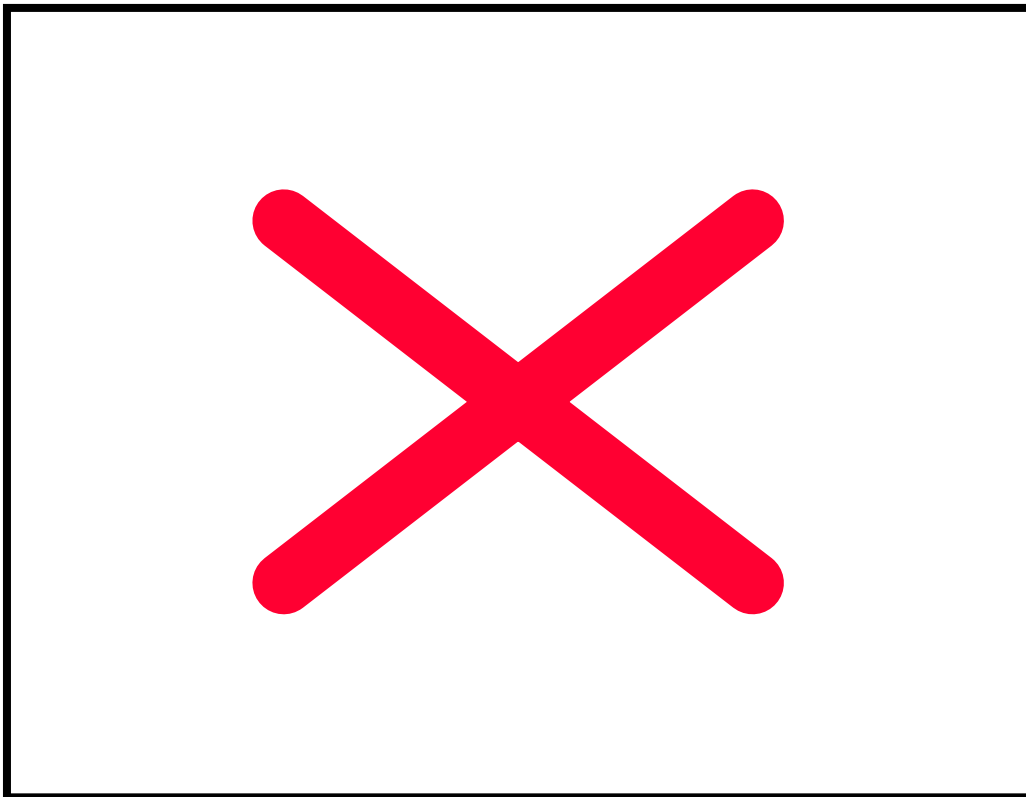
Agosto: 287 UD

Mínimos:

Diciembre: 238 UD

Enero: 241 UD

- Los valores de las concentraciones dado el comportamiento de tipo Monomodal en la distribución del ozono podemos estimar un rango de valores entre: 238 UD – 287 UD
- El comportamiento presenta un punto de inflexión presente hacia El mes de Junio (275 UD) donde no hay decrecimiento en los valores, sino que por el contrario los valores de la concentraciones se estabilizan.



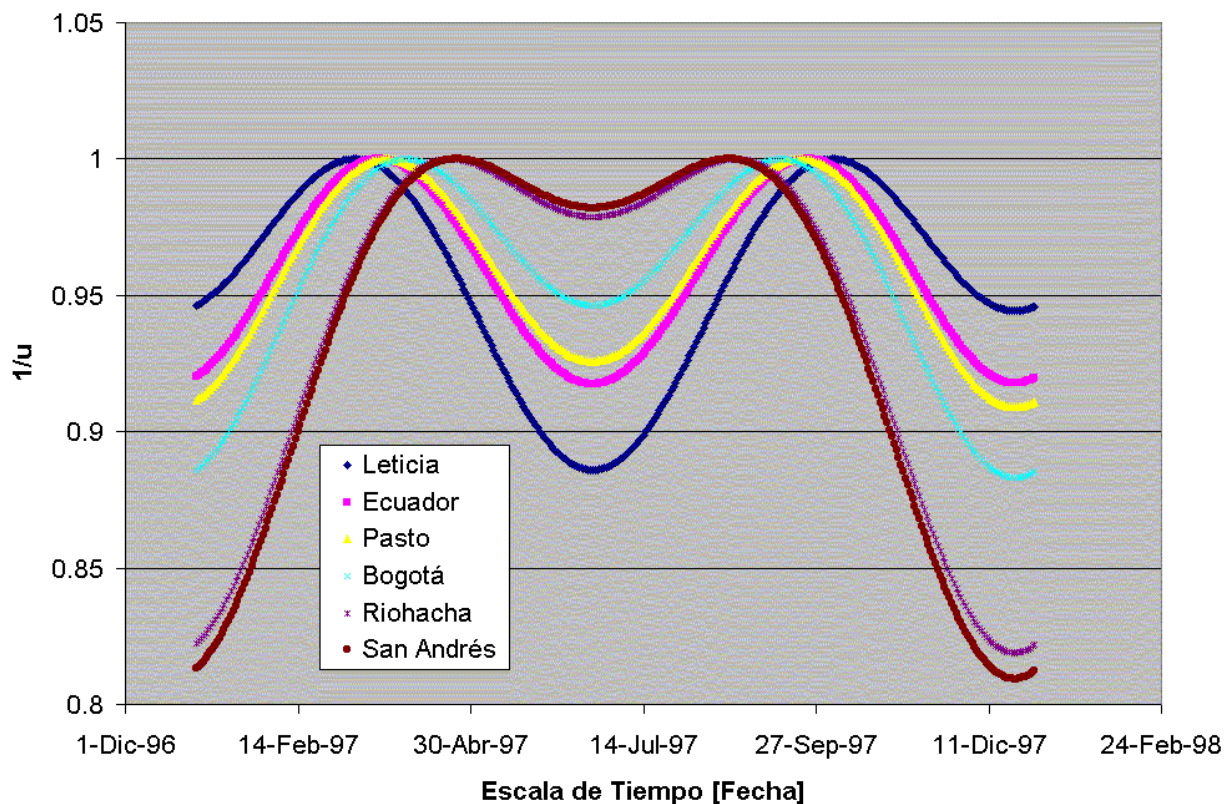
- En el cálculo de la columna total de ozono con base en la Ecuación de Transferencia Radiativa, la dependencia con el ángulo Zenital se expresa en dos cantidades: La Masa de Aire corregida con la Presión y La Masa Absorbadora de Ozono que depende de la altura.

Así:

$$\Omega(DU) = \frac{1000 \cdot \left[L_{12} - \ln\left(\frac{I_1}{I_2}\right) - \beta_{12} \cdot m \frac{P}{P_o} \right]}{\alpha_{12} \cdot \mu}$$

Como el proceso de dispersión en la región ultravioleta del espectro es menor que el proceso de absorción por el Ozono la mayor dependencia debe estar en la Masa Absorbadora (μ), razón por la cual se procedió a graficar los valores de la Masa Absorbadora y posteriormente su inverso $\left(\frac{1}{\mu}\right)$ observando los patrones de bimodalidad para las ciudades cercanas al ecuador ó de Monomodalidad para ciudades alejadas del Ecuador Terrestre.

Variación Inversa de la Masa Absorbadora



- También se observó en el mapa promedio Multianual de Ozono estratosférico una dependencia con la altura, esta se explica de la dependencia con la altura que la masa absorbadora también tiene de acuerdo a la siguiente ecuaciones:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 - v \text{Sen}^2 Z}} \quad \mu \approx v$$

$$v = \left(\frac{R + r}{R + h} \right)^2$$

Donde: R es el radio de la Tierra

r : Es la Altura de la estación

h : Altura del máximo de la capa de Ozono

La Masa Absorbedora es proporcional a la altura de la estación sobre el nivel del mar, como la columna total de Ozono es inversa mente proporcional a la masa absorbedora también es inversamente proporcional a la altura de la estación.

La Ecuación de Transferencia Radiativa es base de los cálculos tanto de los instrumentos en tierra como del satélite, la diferencia entre los dos se encuentra en que el instrumento en tierra recibe la radiación ultravioleta que ha pasado una sola vez por la atmósfera, mientras que el satélite recibe la radiación reflejada por la superficie (camino óptico recorrido por la segunda es mayor).

10.2 RADIACION ULTRAVIOLETA

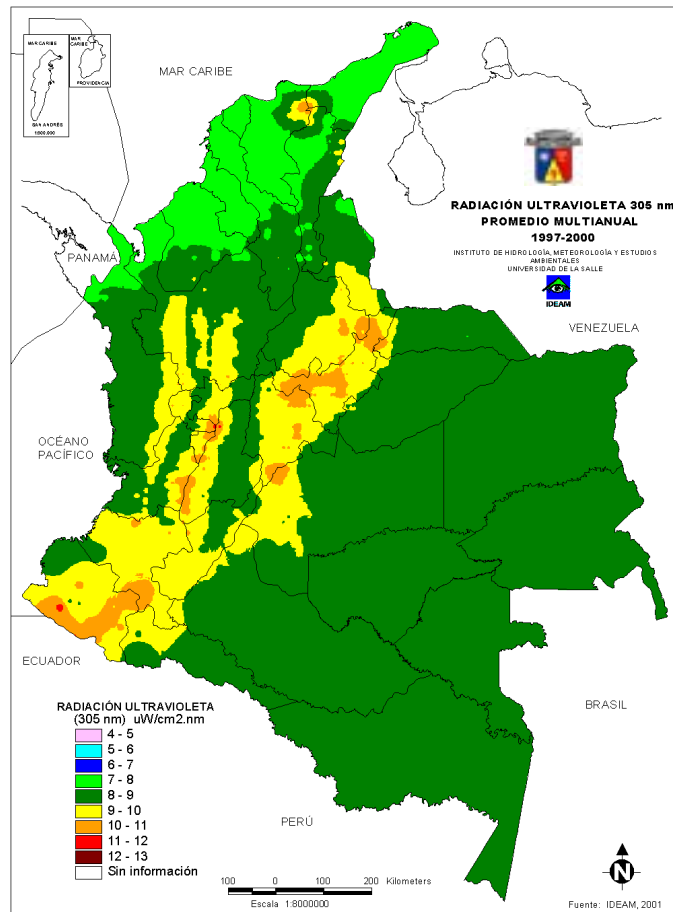
La Radiación Ultravioleta depende en primera instancia de la columna total de Ozono presente, en segundo lugar del Angulo Zenital que está presente en la masa absorbadora de Ozono y en la masa de Aire. En tercer lugar depende de la altura sobre el nivel del mar que es la que afecta el camino óptico de la Radiación Ultravioleta en su paso por la atmósfera.

10.2.1 ELABORACION DE MAPAS

- El cálculo de los mapas de Radiación Ultravioleta se realizó con los siguientes datos de entrada.
 1. Día del Año (16 de cada mes) ó día Juliano.
 2. Con el dato del Juliano se calculo con base en la ecuación de Spencer la posición del Sol representada en su ángulo cenital
 3. Columna Total de Ozono
 4. Coordenadas Geográficas
 5. Altura sobre el nivel del mar, para cada punto coordenado

Los resultados obtenidos de radiación ultravioleta se analizaron a partir de los mapas multianuales de radiación para cada mes realizados durante la ejecución del presente estudio.

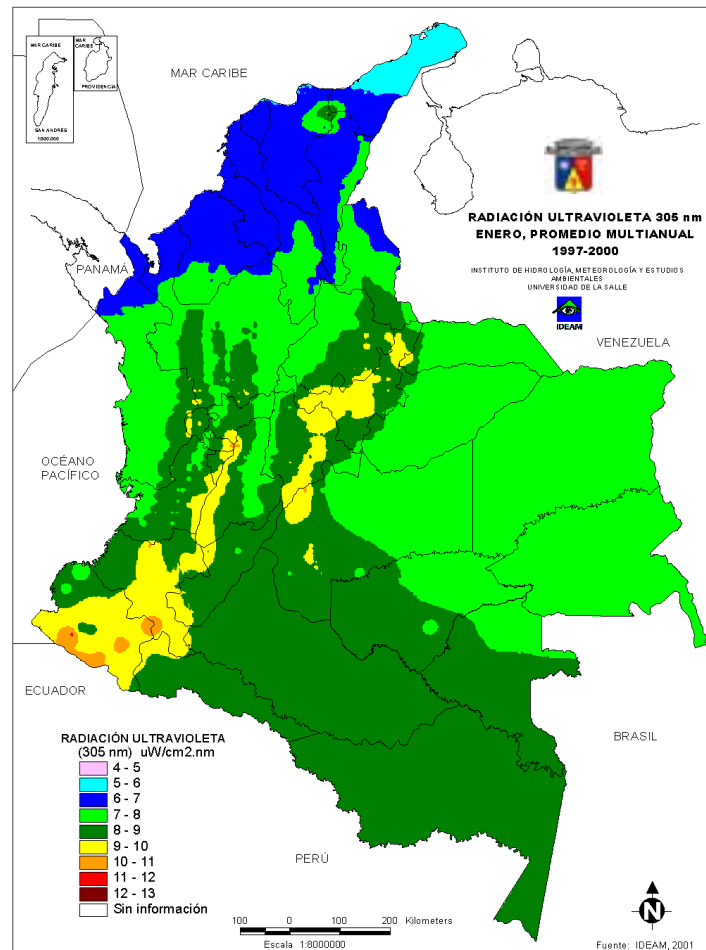
10.2.2 MAPA MULTIANUAL DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA



Los valores se presentan de acuerdo a la distribución en unidades de intensidad, $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$, obtenida para cada zona del territorio así:

- 8-9 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: para la región de los llanos Orientales y la Amazonia, Sierra Nevada de Sta Mta.
- 7 – 8 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Región Caribe y la zona del Alto Magdalena.
- 9 – 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Región comprendida por las cordilleras oriental, central y occidental, Sierra Nevada de Sta Mta.
- 10 – 11 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende las zonas más elevadas de las cordilleras como son, el Macizo Colombiano, y el parque de los nevados.
- 11 – 12 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Es la región de intensidad más pequeña determinada y se ubica sobre la región Volcánica al sur del Departamento de Nariño.

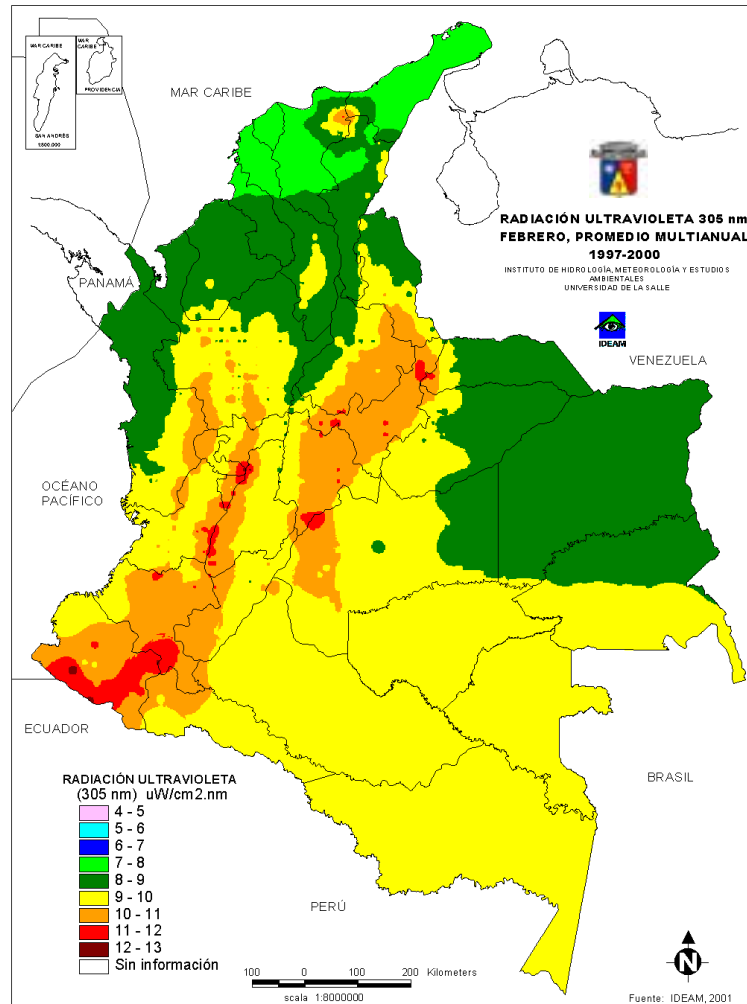
10.2.3 ENERO



- 5 - 6 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Para la región de la Península de la Guajira
- 6 – 7 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Costa Caribe y Alto Magdalena , incluyendo la región del golfo de Uraba.
- 7 – 8 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Zona norte de los llanos orientales Magdalena Medio y zona media y baja del Choco, Valle del Magdalena y Sierra Nevada de Sta Mta.
- 8 – 9 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Región de la Amazonía y Cordilleras Oriental, Central y Occidental y parte alta de la Sierra Nevada.
- 9 – 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Macizo Colombiano, parque de los nevados, Altiplano Cundiboyacense y nevado del Cocuy.

- 10 – 11 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Macizo Colombiano y Sur de Nariño.

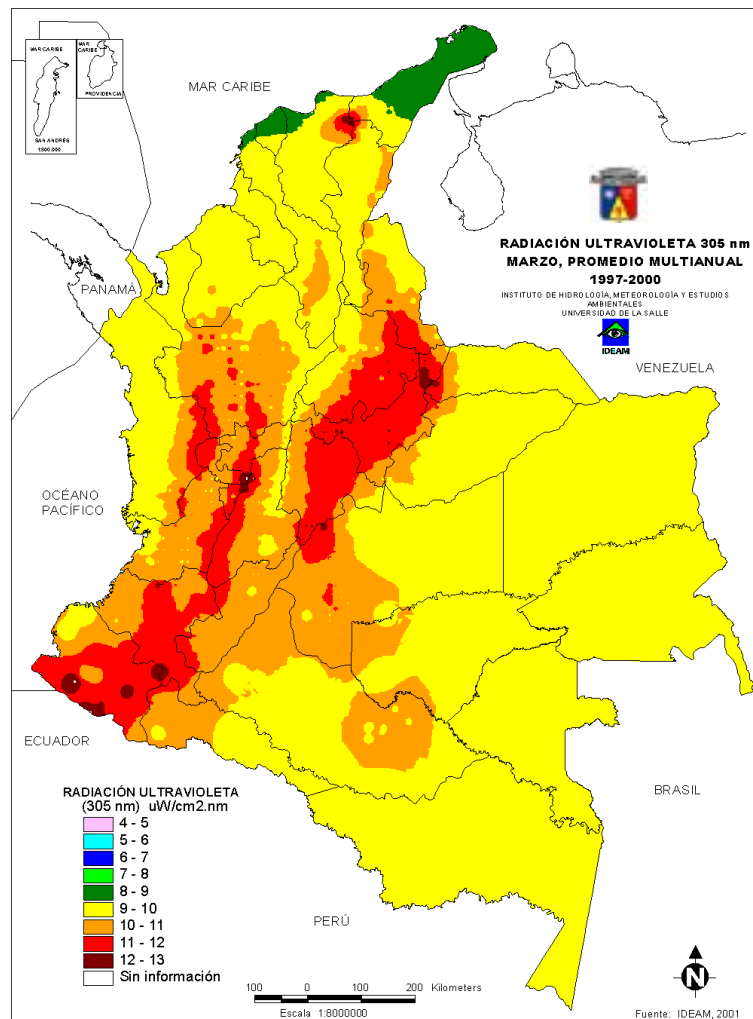
10.2.4 FEBRERO



- 7 - 8 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Península de la Guajira.
- 8 – 9 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Magdalena medio, Costa Norte del Departamento del Choco, Región Oriental de los llanos un poco más hacia la parte del departamento del Vichada y Casanare.

- 9 – 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2*\text{nm}$: Región de la Amazonia, Dptos del Guaviare, Vaupes, Meta, Caqueta y Sur del Guainia, Región Sur del Valle del Magdalena y Cauca, Serranía de San Lucas y Costa Pacífica.
- 10 – 11 $\mu\text{W}/\text{cm}^2*\text{nm}$: Región alta perteneciente a las cordilleras Oriental, Central y Occidental.
- 11 – 12 $\mu\text{W}/\text{cm}^2*\text{nm}$: Parque de los Nevados, región Sur de Nariño y Nevado del Cocuy.

10.2.5 MARZO



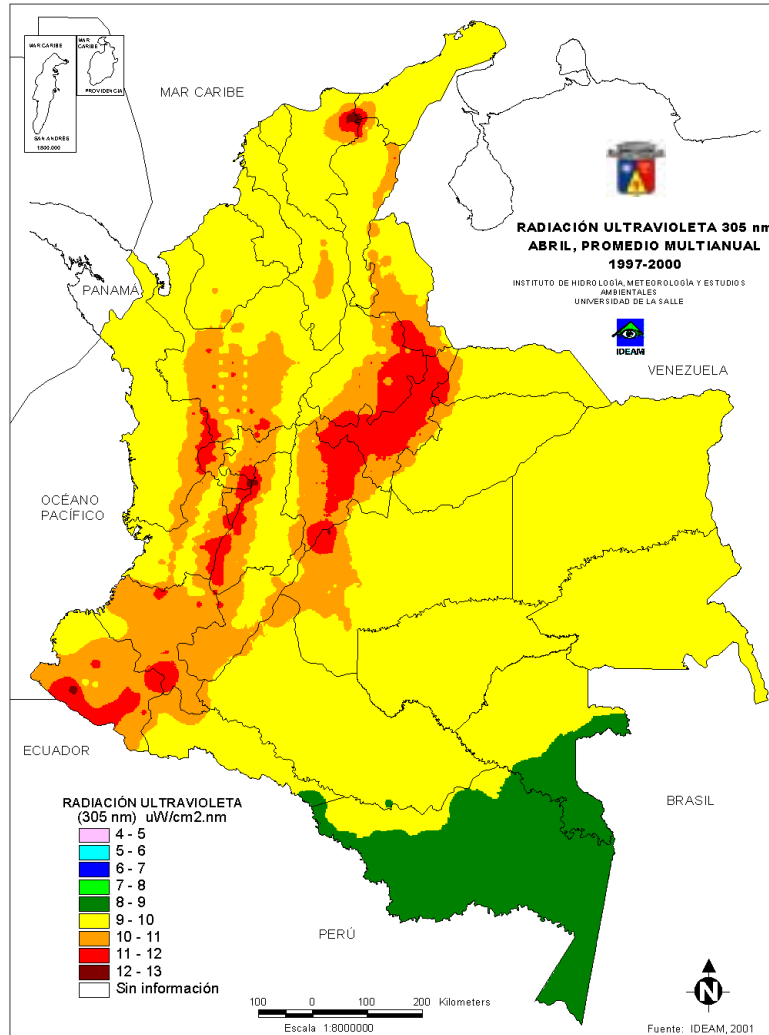
Para este mes se presenta un marcado predominio de una intensidad entre 9 – 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2*\text{nm}$ sobre todos los Llanos Orientales, Costa Atlántica, Valle del Magdalena y Costa Pacífica.

- 8 - 9 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$: Este valor de intensidad se presenta en la región de la península de la Guajira y un pequeño sector de los al norte de los departamentos del Atlántico, Magdalena y Bolívar.
- 9 – 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$: Esta intensidad comprende la franja más representativa para este mes, abarcando toda la zona de los Llanos Orientales y la Amazonía, Costa Norte, Costa Pacifica, Valle medio y alto del Río Magdalena
- 10 – 11 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$: Comprende las zonas del valle del río Cauca y las zonas cercanas de las cordilleras a los valles , más ó menos hasta la franja de (1000m – 1500m) de altitud, también comprende la serranía del Chiribiquete, la Sierra Nevada de Sta Mta y la Serranía de la Macarena.
- 11 – 12 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$: Esta franja comprende las zonas elevadas del territorio partiendo casi desde los 1500 m en adelante hasta los 3000 m sobre la zona de las cordilleras y la Sierra Nevada de Sta Mta.
- 12 – 13 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$: Los valores correspondientes a esta intensidad se presentan en los puntos más elevados de la geografía nacional como son: Sierra Nevada, Nevado del Cocuy, Parque de los Nevados, Zona de los Volcanes en Nariño.

10.2.6 ABRIL

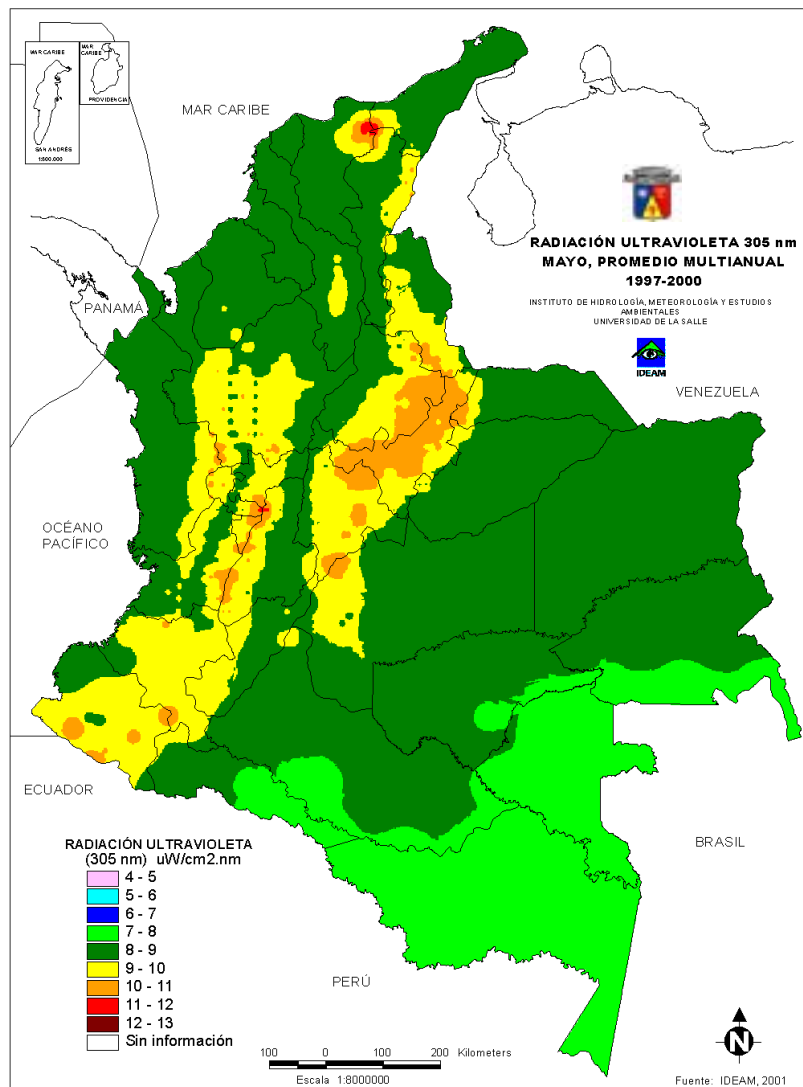
Para este mes se continua presentando un marcado predominio de la franja de intensidad entre 9 – 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$ sobre todos los Llanos Orientales, Costa Atlántica, Valle del los Ríos Magdalena y Cauca, Costa Pacifica.

- 8 - 9 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$: Comprende casi la totalidad del departamento de la Amazonía únicamente.
- 9 – 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$: Comprende los Llanos Orientales, zona norte de la Amazonía, Costa Atlantica, Costa Pacifica, Valle del Río Magdalena y Cauca.



- 10 – 11 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$: Comprende las elevaciones a partir de los 500m hasta los 1500m sobre las Cordilleras Occidental, Central, Oriental, Sierra Nevada.
- 11 – 12 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$: Comprende las elevaciones desde los 1500m hasta los 3000m sobre las 3 Cordilleras y la Sierra Nevada de Sta Mta.
- 12 – 13 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$: Los valores correspondientes a esta intensidad se presentan en zonal elevadas como: Sierra Nevada, Zona de los Volcanes en Nariño.

10.2.7 MAYO

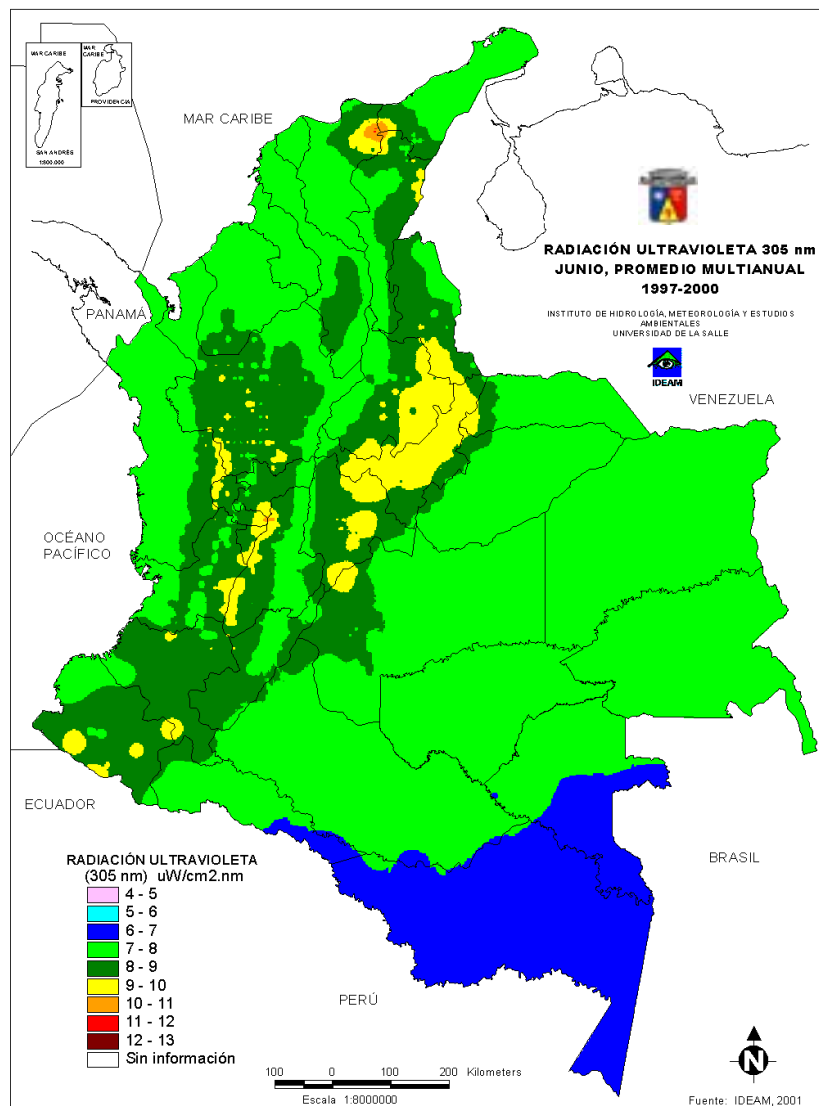


Para este mes se presentando una disminución de la franja de intensidad pasando de los 9 –10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$ a valores entre 8 – 9 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$, sobre todos los Llanos Orientales, Costa Atlántica, Valle de los Ríos Magdalena, Cauca y Costa Pacifica.

- 7 - 8 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende casi la totalidad de la región de la Amazonía.
- 8 - 9 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende gran parte de los Llanos Orientales, Costa Atlántica, Valle de los Ríos Magdalena y Cauca, Costa Pacifica.

- 9 – 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende las elevaciones a partir de los 500m hasta los 1500m sobre las Cordilleras Occidental, Central, Oriental, Sierra Nevada.
- 10 – 11 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende las elevaciones desde los 1500m hasta los 3000m sobre las 3 Cordilleras y la Sierra Nevada de Sta Mta.
- 11 – 12 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Los valores correspondientes a esta intensidad se presentan en zonal elevadas como: Sierra Nevada y Nevados de la Cordillera Central.

10.2.8 JUNIO



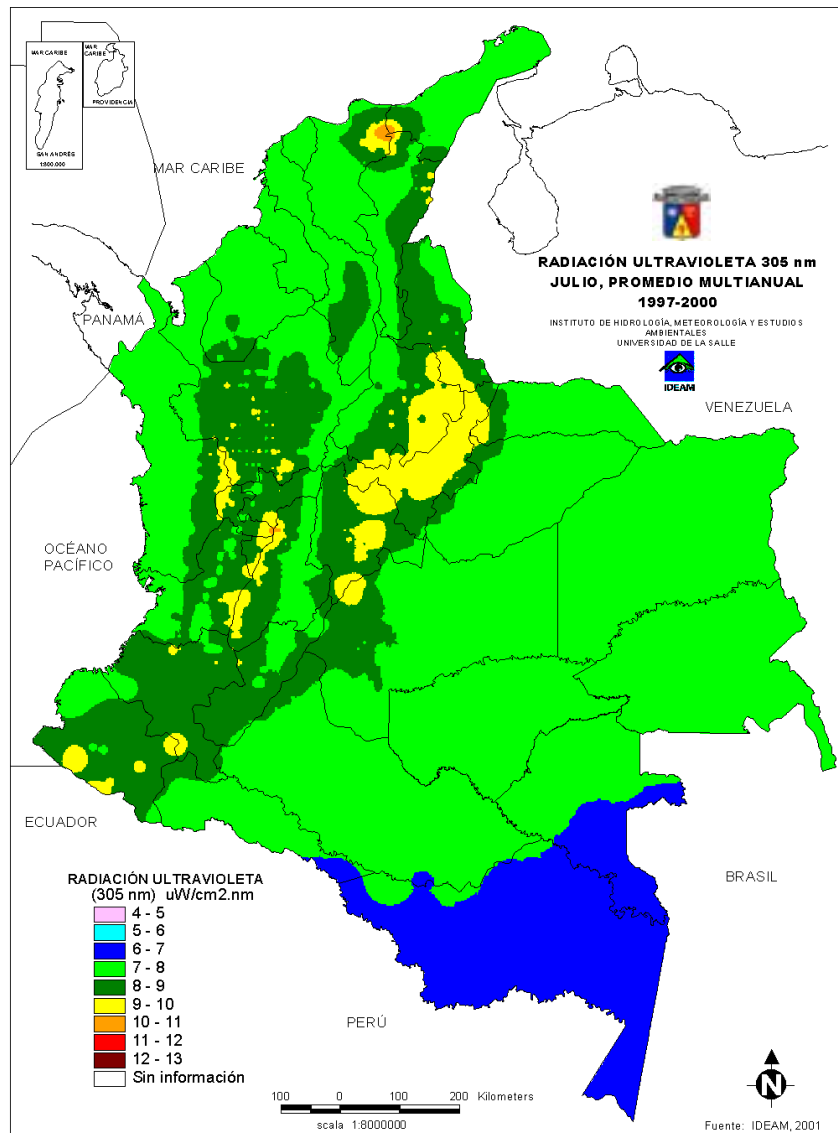
Para este mes se presentan valores similares a los presentados en el mes de Mayo con predominio entre $7 - 8 \mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$, sobre todos los Llanos Orientales, Costa Atlántica, Valle de los Ríos Magdalena, Cauca y Costa Pacífica.

- $6 - 7 \mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende la totalidad del departamento del Amazonas.
- $7 - 8 \mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende gran parte de los Llanos Orientales, Costa Atlántica, Valle de los Ríos Magdalena y Cauca, Costa Pacífica.
- $8 - 9 \mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende las elevaciones a partir de los 500m hasta los 1500m sobre las Cordilleras Occidental, Central, Oriental, Sierra Nevada.
- $9 - 10 \mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende las elevaciones desde los 1500m hasta los 3000m sobre las 3 Cordilleras y la Sierra Nevada de Sta Mta.
- $11 - 12 \mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Los valores correspondientes a esta intensidad se presentan en zonal elevadas como: Sierra Nevada y Nevados de la Cordillera Central.

10.2.9 JULIO

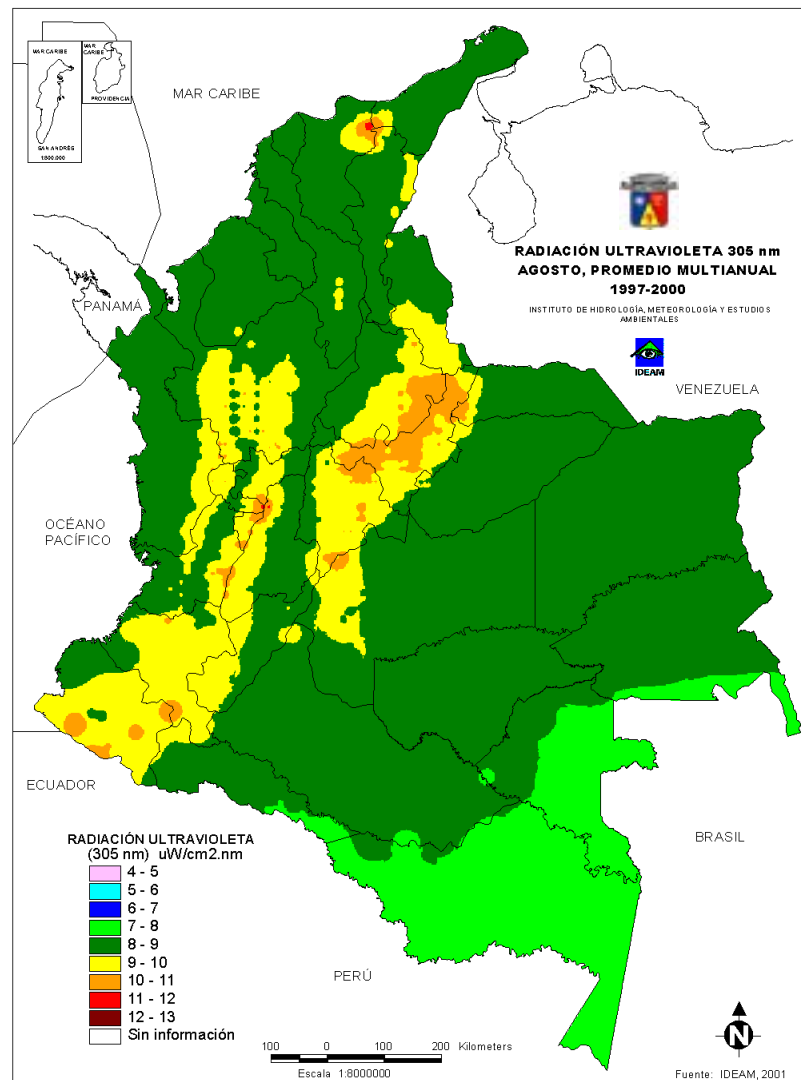
Para este mes se presentan valores similares a los presentados en el mes de Junio con predominio entre $7 - 8 \mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$, sobre todos los Llanos Orientales, Costa Atlántica, Valle de los Ríos Magdalena, Cauca y Costa Pacífica.

- $6 - 7 \mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende la totalidad del departamento del Amazonas.
- $7 - 8 \mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende gran parte de los Llanos Orientales, Costa Atlántica, Valle de los Ríos Magdalena y Cauca, Costa Pacífica.
- $8 - 9 \mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende las elevaciones a partir de los 500m hasta los 1500m sobre las Cordilleras Occidental, Central, Oriental, Sierra Nevada.
- $9 - 10 \mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende las elevaciones desde los 1500m hasta los 3000m sobre las 3 Cordilleras y la Sierra Nevada de Sta Mta.



- 11 – 12 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$: Los valores correspondientes a esta intensidad se presentan en zonas elevadas como: Sierra Nevada y Nevados de la Cordillera Central.

10.2.10 AGOSTO

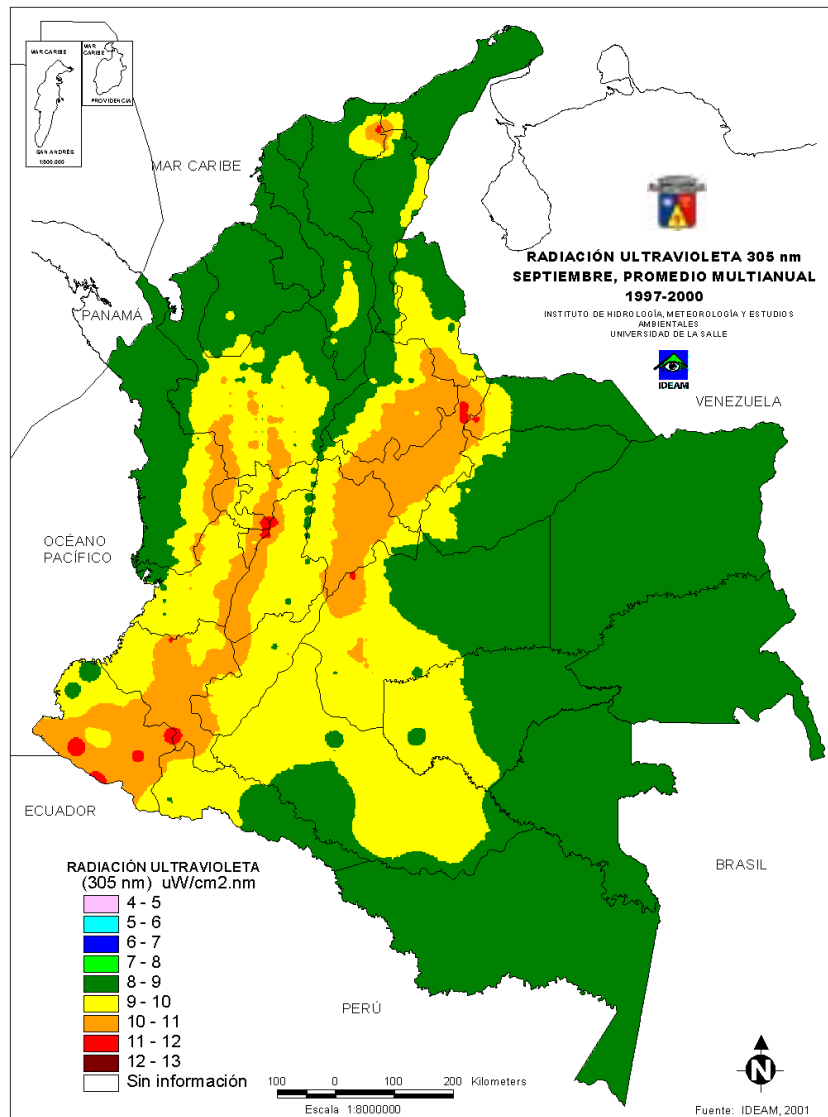


Para este mes se presenta un aumento de la franja de intensidad pasando de los 8 – 9 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$ a valores entre 9 – 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$, sobre todos los Llanos Orientales, Costa Atlántica, Valle de los Ríos Magdalena, Cauca y Costa Pacífica, comportamiento muy similar al del mes de Mayo.

- 7 - 8 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende casi la totalidad de la región de la Amazonía.
- 8 - 9 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende gran parte de los Llanos Orientales, Costa Atlántica, Valle de los Ríos Magdalena y Cauca, Costa Pacífica.

- 9 – 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende las elevaciones a partir de los 500m hasta los 1500m sobre las Cordilleras Occidental, Central, Oriental, Sierra Nevada.
- 10 – 11 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende las elevaciones desde los 1500m hasta los 3000m sobre las 3 Cordilleras y la Sierra Nevada de Sta Mta.
- 11 – 12 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Los valores correspondientes a esta intensidad se presentan en zonal elevadas como: Sierra Nevada y Nevados de la Cordillera Central.

10.2.11 SEPTIEMBRE



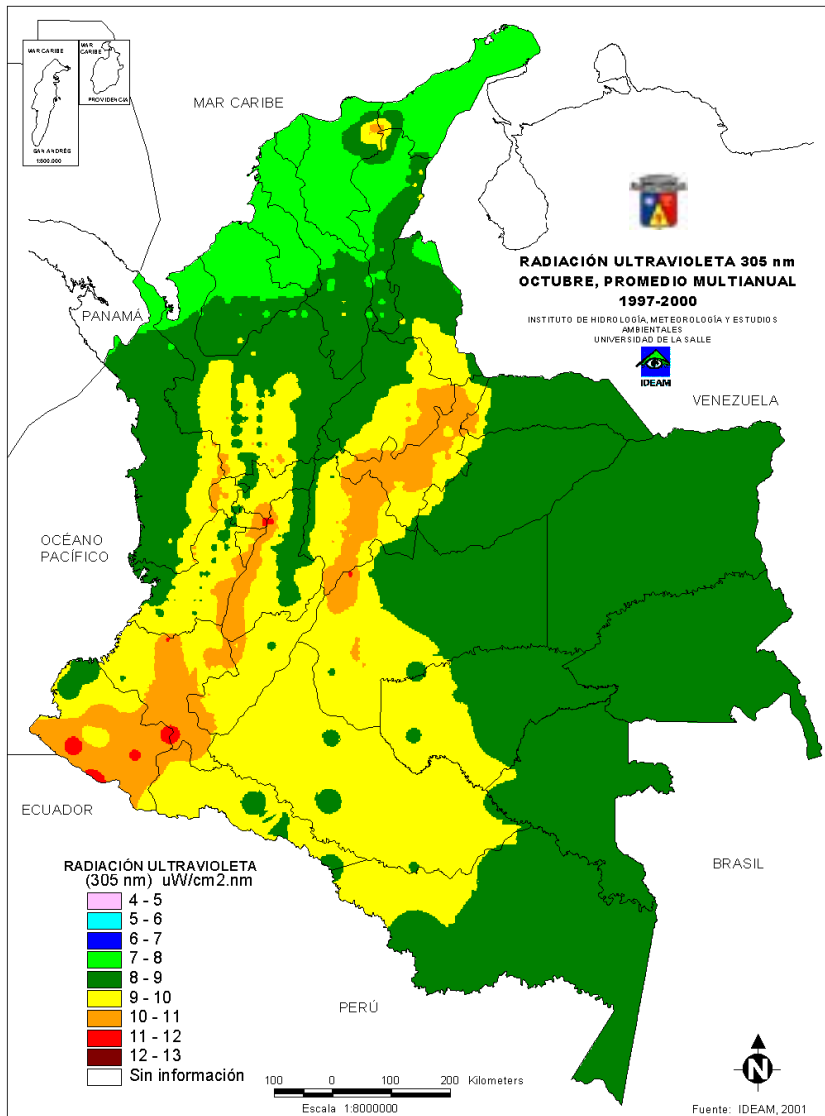
Para este mes se mantiene el predominio de la franja de intensidad entre los 9 –10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$, con un aumento de la franja entre 9 – 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$, sobre la región andina del territorio.

- 8 - 9 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$: Comprende gran parte de los Llanos Orientales, Costa Atlántica, Valle medio del Río Magdalena y parte alta de la Costa Pacífica.
- 9 – 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$: Comprende las elevaciones a partir de los 500m hasta los 1500msobre las Cordilleras Occidental, Central, Oriental, Sierra Nevada.
- 10 – 11 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$: Comprende las elevaciones desde los 1500m hasta los 3000m sobre las 3 Cordilleras y la Sierra Nevada de Sta Mta.
- 11 – 12 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$: Los valores correspondientes a esta intensidad se presentan en zonal elevadas como: Sierra Nevada, Nevados de la Cordillera Central y macizo Colombiano.

10.2.12 OCTUBRE

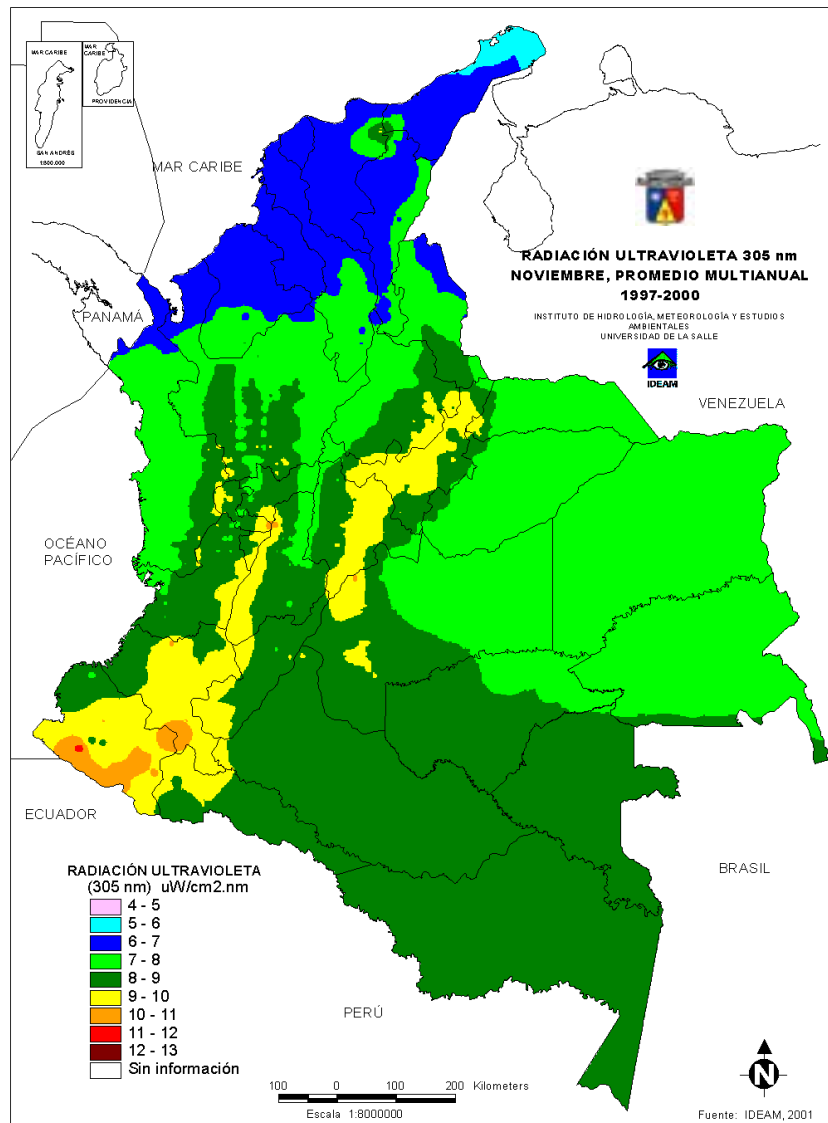
Para este mes se mantiene el predominio de la franja de intensidad entre los 9 –10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$, con un aumento mayor de la franja entre 9 – 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$, sobre la región andina del territorio.

- 7 - 8 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$: Comprende casi la totalidad de la región de la Costa Atlántica.
- 8 - 9 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$: Comprende gran parte de los Llanos Orientales, Valle medio del Río Magdalena y parte alta de la Costa Pacífica.
- 9 – 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$: Comprende las elevaciones a partir de los 500m hasta los 1500msobre las Cordilleras Occidental, Central, Oriental, Sierra Nevada y una franja sobre el departamento del Caquetá, Meta, Putumayo, Amazonas.
- 10 – 11 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$: Comprende las elevaciones desde los 1500m hasta los 3000m sobre las 3 Cordilleras y la Sierra Nevada de Sta Mta.



- 11 – 12 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Los valores correspondientes a esta intensidad se presentan en zonal elevadas como: Sierra Nevada, Nevados de la Cordillera Central y macizo Colombiano.

10.2.13 NOVIEMBRE



Para este mes se mantiene el predominio de la franja de intensidad entre los 9 –10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$, con un aumento mayor de la franja entre 9 – 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$, sobre la región andina del territorio.

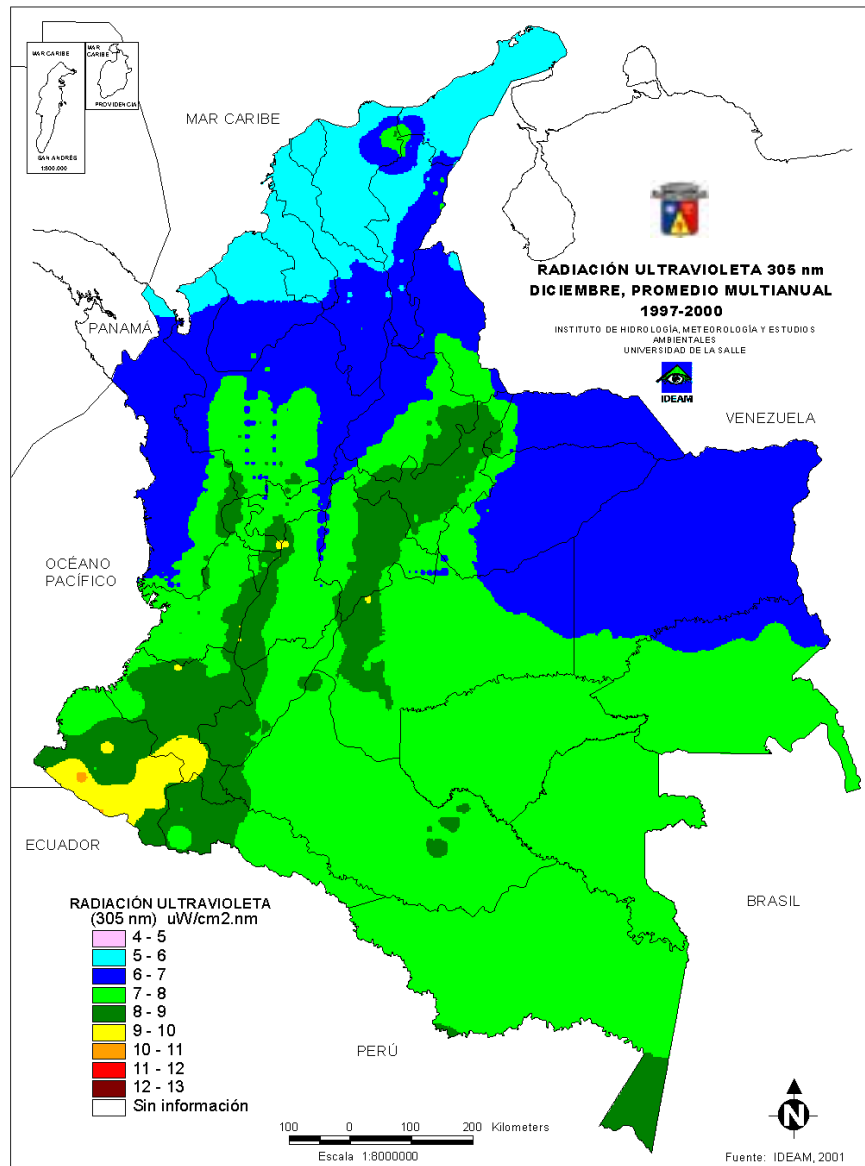
- 5 - 6 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende una pequeña franja en la zona norte de la península de la Guajira.
- 6 - 7 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende la totalidad de la Costa Atlántica.

- 7 - 8 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende casi la totalidad de la región de la Orinoquia, Valle medio del Magdalena y zona norte de la Costa Pacífica.
- 8 - 9 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende gran parte de la Amazonía y elevaciones a partir de los 500m hasta los 1500m sobre las Cordilleras Occidental, Central, Oriental, Sierra Nevada.
- 9 – 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende las elevaciones desde los 1500m hasta los 3000m sobre las 3 Cordilleras.
- 10 – 11 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Parte del Macizo Colombiano en el departamento de Nariño.
- 11 – 12 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende una pequeña franja en la Zona de los Volcanes en el departamento de Nariño.

10.2.14 DICIEMBRE

Para este mes se nota una disminución en las intensidades presentando los valores más bajos durante el año sobre el territorio.

- 5 - 6 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende la totalidad de la Costa Atlántica.
- 6 - 7 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende casi la totalidad de la región de la Orinoquia, Valle medio del Magdalena, zona norte de la Costa Pacífica y Sierra Nevada de Sta Mta.
- 7 - 8 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende gran parte de la Amazonía y elevaciones a partir de los 500m hasta los 1500m sobre las Cordilleras Occidental, Central, Oriental, Sierra Nevada.
- 8 - 9 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende las elevaciones desde los 1500m hasta los 3000m sobre las 3 Cordilleras.
- 9 – 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende parte del Macizo Colombiano en el departamento de Nariño.



- 10 – 11 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$: Comprende una pequeña franja en la Zona de los Volcanes en el departamento de Nariño.

10.3 INDICES AMBIENTALES DE RADIACION ULTRAVIOLETA

De acuerdo a los niveles calculados de radiación para el presente trabajo se lograron establecer los valores para los **indicadores de exposición a la radiación ultravioleta**, mes a mes tal como se realizó para las concentraciones de Ozono y Radiación Ultravioleta.

La presentación de los resultados obtenidos se exponen de acuerdo a las regiones en las cuales se encuentra dividido el territorio nacional, incluyendo el calculo de los valores máximos y mínimos de tiempo de exposición según los diferentes tipos de piel clasificados, tal como se puede apreciar en los mapas de Índices UV y las matrices de análisis elaboradas como uno de los objetivos trazados en el presente trabajo.

**10.2 MATRIZ DE VALORES CALCULADOS PARA LOS TIEMPOS MÁXIMO Y MÍNIMO DE EXPOSICIÓN
POR TIPO DE PIEL EN EL TERRITORIO COLOMBIANO**

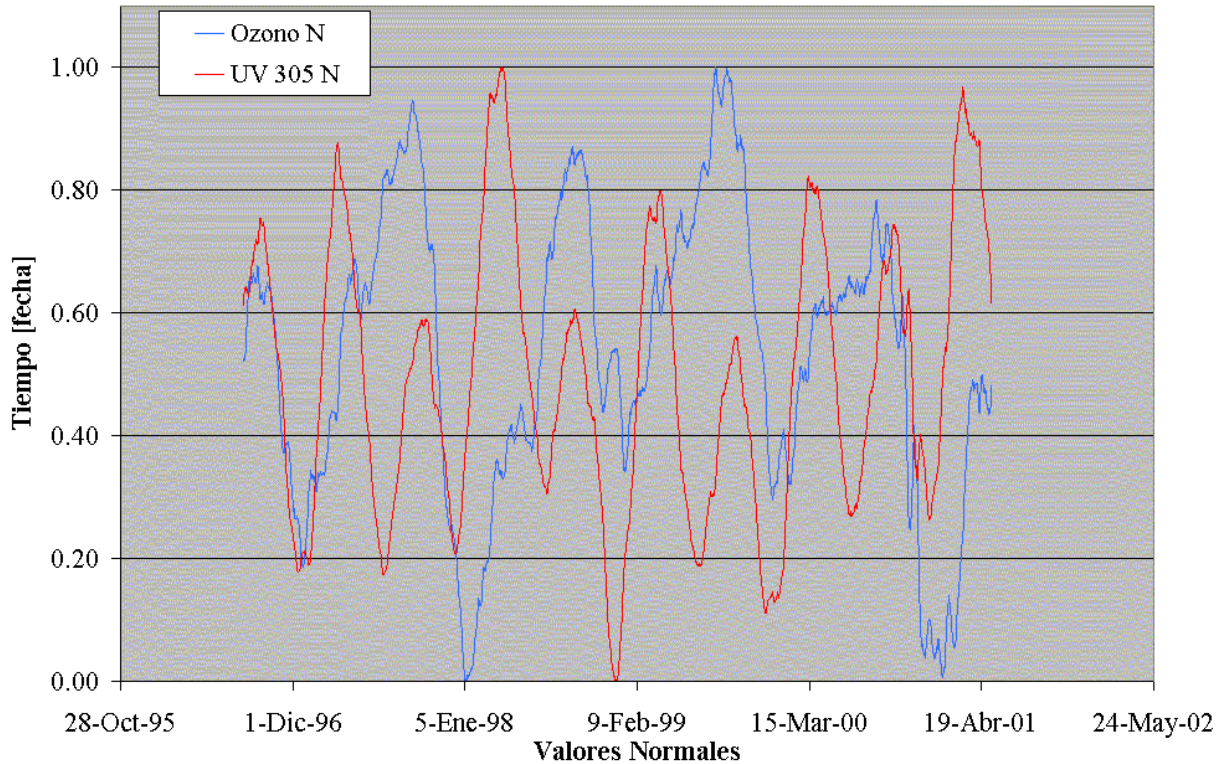
Mes del Año	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio	
Tiempo Exposición (minutos)	Máx (min)	Mín (min)	Máx (min)	Mín (min)	Máx (min)	Mín (min)	Máx (min)	Mín (min)	Máx (min)	Mín (min)	Máx (min)	Mín (min)	Máx (min)	Mín (min)
Tipo de Piel														
TIPO A	7.4	4.1	5.98	3.70	5.1	3.5	5.1	3.6	5.9	3.8	6.6	4.0	6.4	4.0
TIPO B	28.6	14.6	22.4	13.1	18.9	12.5	18.7	12.7	22.0	13.6	24.9	14.4	24.4	14.5
TIPO C	38.1	19.5	29.9	17.5	25.2	16.7	24.9	17.0	29.3	18.1	33.2	19.2	32.5	19.4
TIPO D	24.4	47.7	37.8	21.9	31.5	20.8	31.2	21.2	36.6	22.7	41.6	23.9	40.6	24.2

Mes del Año	Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		Anual	
Tiempo Exposición (Minutos)	Máx (min)	Mín (min)	Máx (min)	Mín (min)	Máx (min)	Mín (min)	Máx (min)	Mín (min)	Máx (min)	Mín (min)	Máx (min)	Mín (min)
Tipo de Piel												
TIPO A	5.6	3.9	5.2	3.8	5.9	3.8	7.7	4.0	8.1	4.3	5.88	3.98
TIPO B	21.0	13.9	19.5	13.4	22.1	13.7	30.3	14.4	31.9	15.4	22.1	14.2
TIPO C	28.0	18.6	26.0	17.9	29.4	18.2	40.4	19.1	42.6	20.5	29.5	19.0
TIPO D	35.0	23.2	32.5	22.4	36.8	22.8	50.4	23.9	53.2	25.6	36.9	23.7

CONCLUSIONES

- La distribución de la Columna Total de ozono sobre el Territorio Colombiano presenta una distribución de Bimodal ó Monomodalidad como se observan en las gráficas de distribución de Ozono calculadas. Los patrones están relacionados con la dinámica de la alta atmósfera presente en la zona del tropical en la cual se encuentra el territorio Colombiano.
- Con los resultados presentados en las graficas de distribución de Ozono obtenidas en las 5 ciudades, se observa una tendencia Bimodal en las zonas próximas al Ecuador y un comportamiento Monomodal para las zonas del Norte del País, cercanas a los 10° de Latitud Norte. Situación que se atribuye a la variación durante el año del ángulo Zenital para cada uno de los cinco puntos representados, así por ejemplo se observa:
- La distribución de las distancias Cenitales durante el año presentan mayor amplitud en los puntos cercanos al ecuador y menor amplitud para los puntos localizados al Norte del País.
- Como se observa en los mapas de ozono se presenta una distribución de la Columna Total de tal forma que entre los meses de Noviembre a Marzo el ozono presenta los menores valores y de Mayo a Octubre valores más altos, presentándose los valores máximos entre los meses de Julio y Agosto respectivamente.
- Se observa en la intercomparación de tendencias de ozono y UV-B que existe una relación inversa entre los valores de las variables comparadas, a mayor Columna Total de Ozono menor cantidad de Radiación UV-B y a menor Columna Total de Ozono mayor cantidad de Radiación UV-B como se indica en la siguiente gráfica:

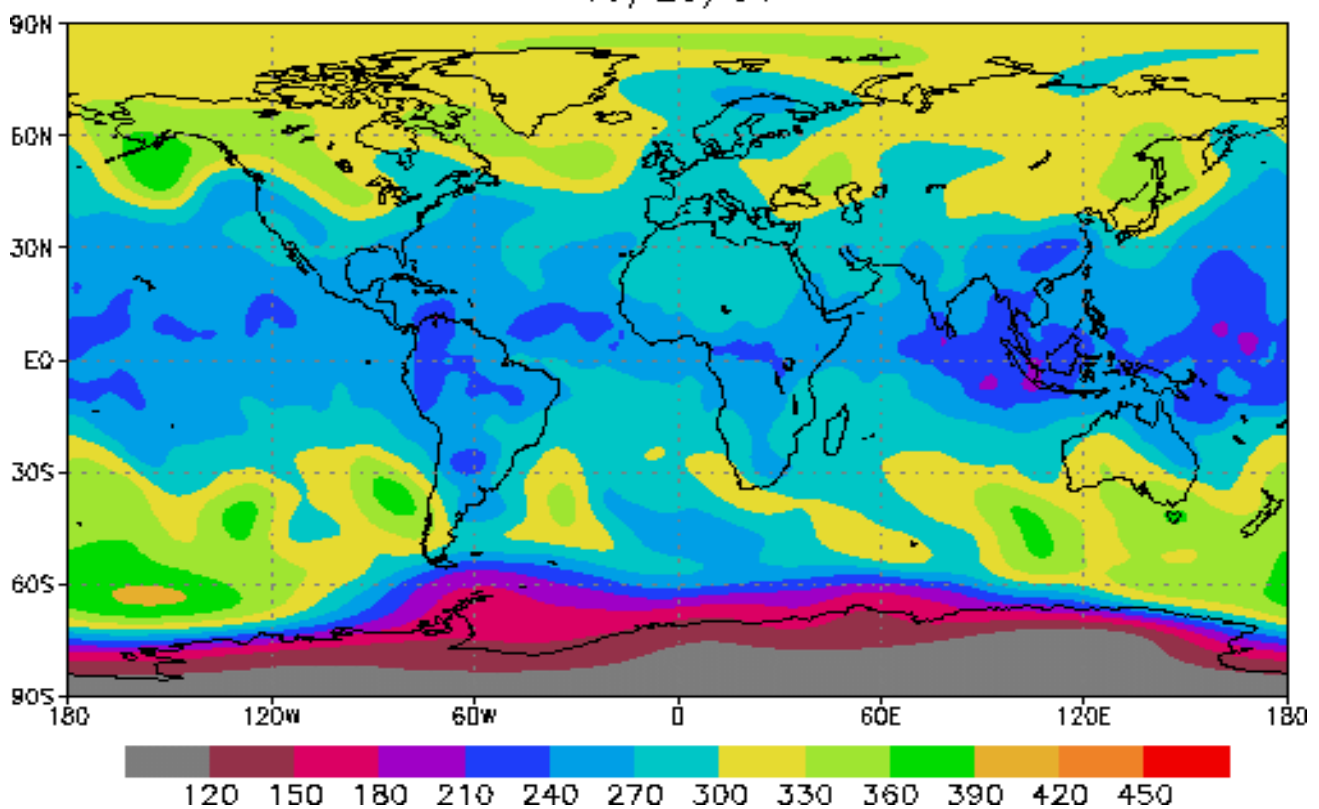
Curvas Normalizadas de Radiación Ultravioleta Vs. Ozono para la ciudad de Bogotá D.C.



- Esto corrobora el papel valioso de la Columna Total de Ozono que absorbe la peligrosa radiación UV-B, responsable de numerosas afectaciones sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos y la salud humana.
- Con el análisis de tendencias por Media Móvil para la Columna Total de Ozono se ayudará al IDEAM en los procesos de pronóstico a 5 días (a posteriori). Los valores de concentración de ozono permitirán por ende el pronóstico de Radiación UV-B e índices UV que son los indicadores de la relación efecto UV-B sobre la salud humana.

- En términos generales podemos considerar que los valores de las concentraciones de la Columna Total de Ozono para Colombia, son menores que las encontrados en latitudes medias y altas; ya que los movimientos de aire en la alta atmósfera son horizontales, transportando el ozono de zonas de altas temperaturas (Trópico), hacia zonas con temperaturas más bajas (Polos), exceptuando los episodios de agujero de ozono sobre el Polo Sur. Esto no implica la presencia de agujeros de ozono sobre el territorio nacional.

TOVS Total Ozone Analysis (Dobson Units)
 Climate Prediction Center/NCEP/NWS/NOAA
 10/25/01



- Los valores de la concentración de la Columna Total de Ozono presentan una leve disminución hacia el sur de país, no así para la zona norte del mismo que tiende a mostrar cierto equilibrio, pero consideramos que el periodo histórico de estudio no es lo suficientemente prolongado, razón que permitiría determinar una variación más significativa dentro de los datos existentes.

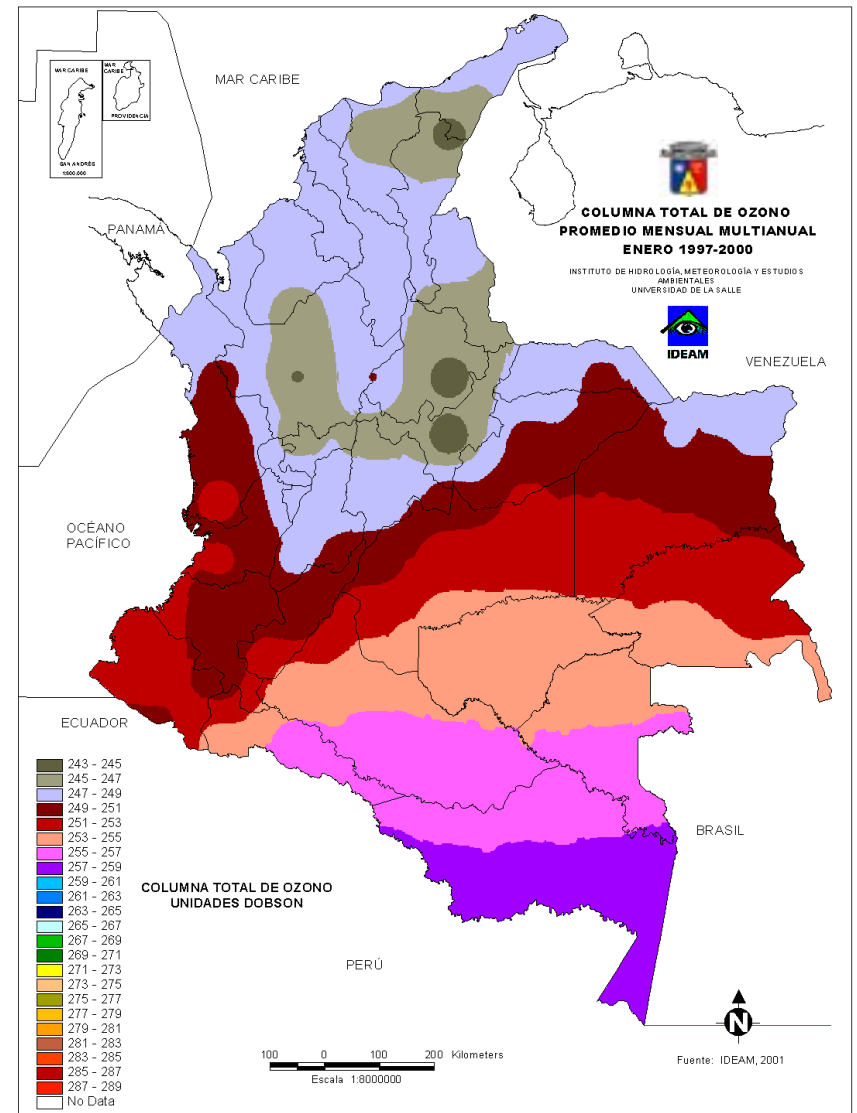
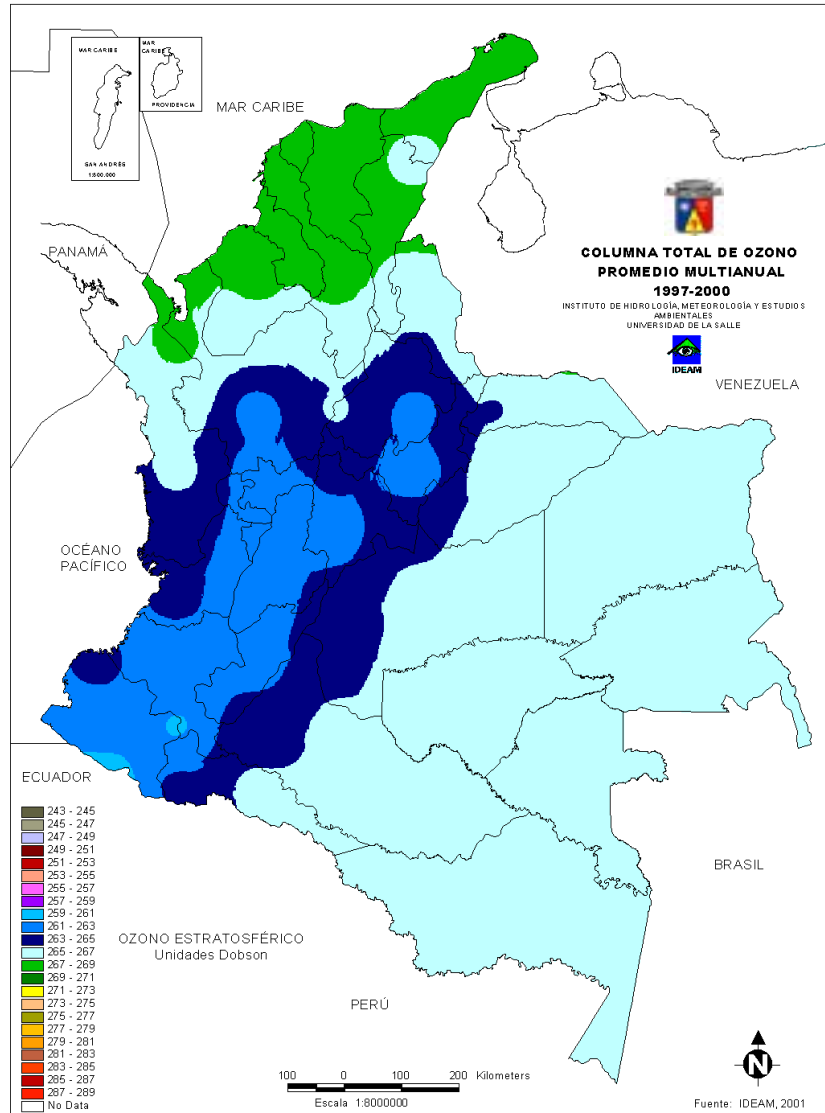
- Los valores de los indicadores como se puede apreciar son altos, debido a la ubicación del país dentro de una zona de baja concentración de ozono, que es al mismo tiempo la zona que recibe mayor intensidad radiante del sol. Además la altura sobre el nivel del mar es elevada, lo cual disminuye el camino óptico de la radiación ultravioleta haciéndola muy intensa.
- Los instrumentos de medición de Columna Total y Radiación, tienen un excelente grado de confiabilidad a partir de las lecturas utilizadas en la comparación entre Columna Total y UV medido en superficie.
- La Red de Instrumentos de medición se encuentra distribuida latitudinalmente, lo cual nos presenta una cobertura confiable y total en la recolección de datos sobre la superficie del territorio colombiano.

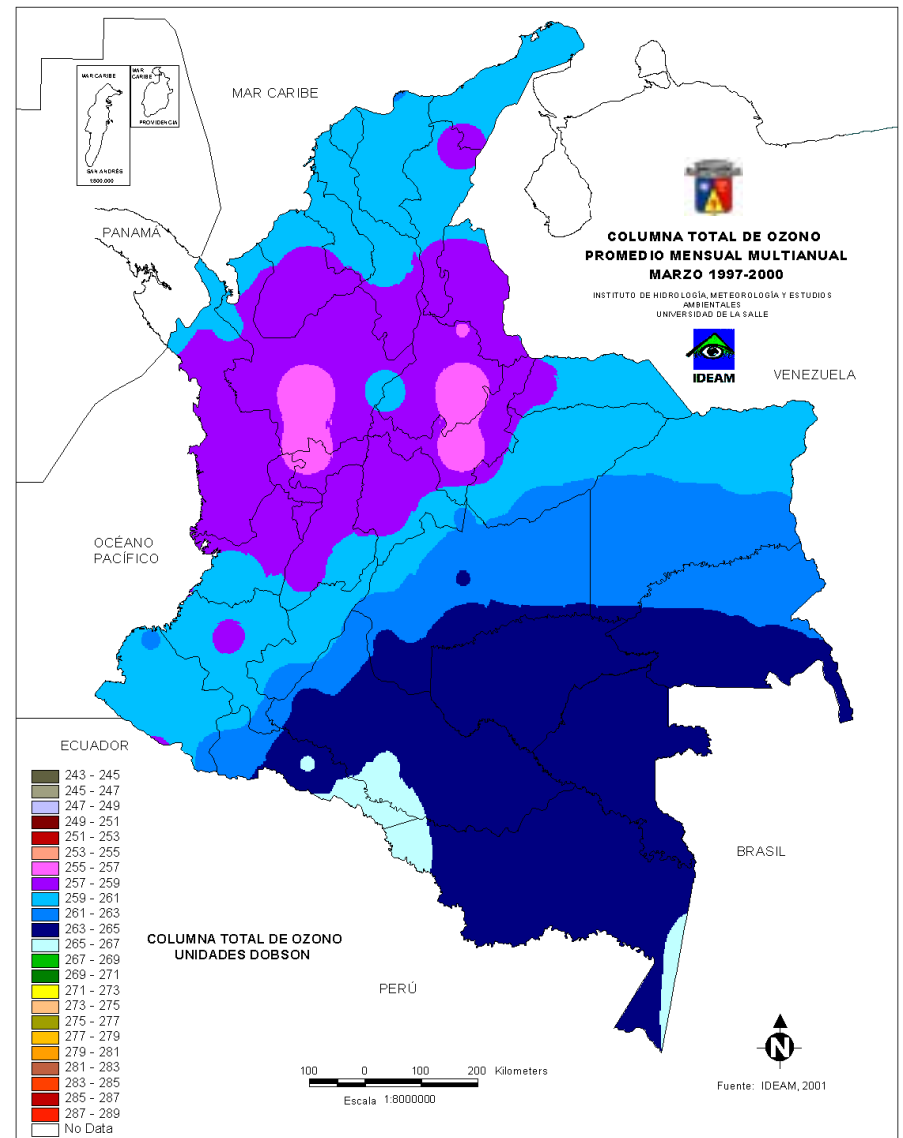
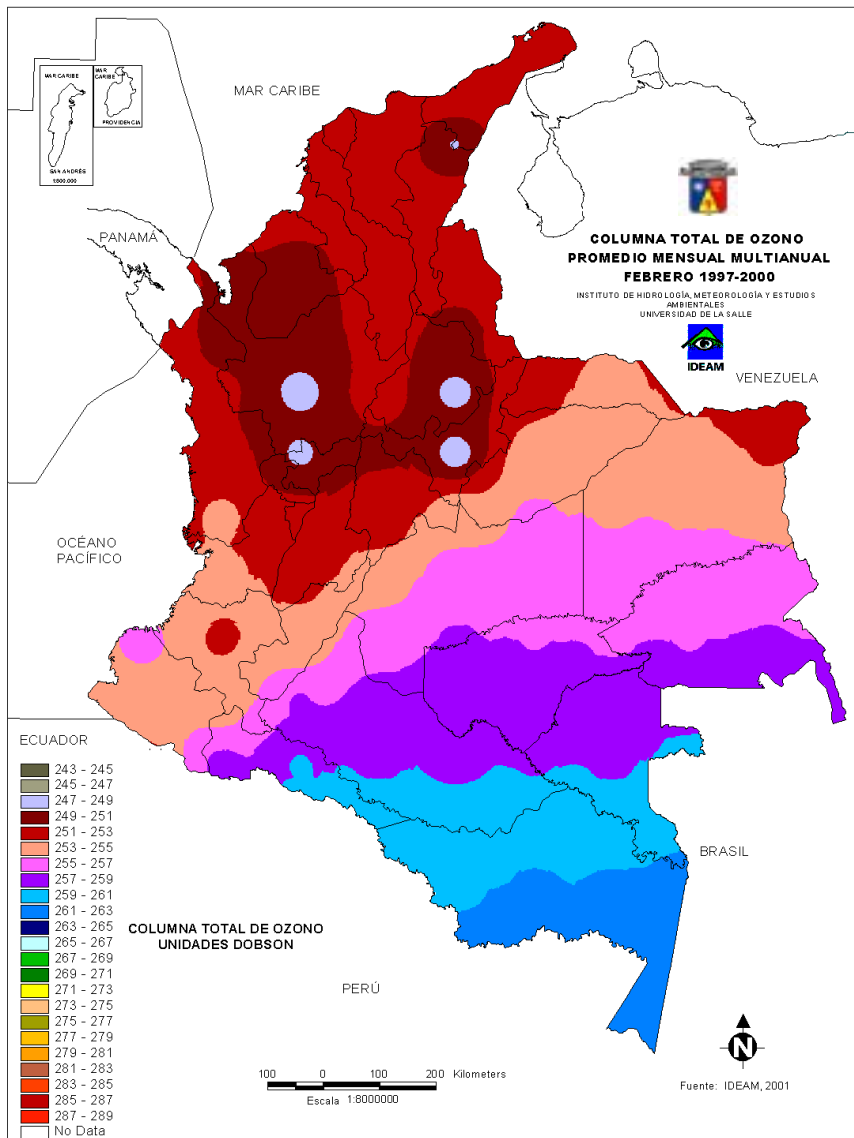
RECOMENDACIONES

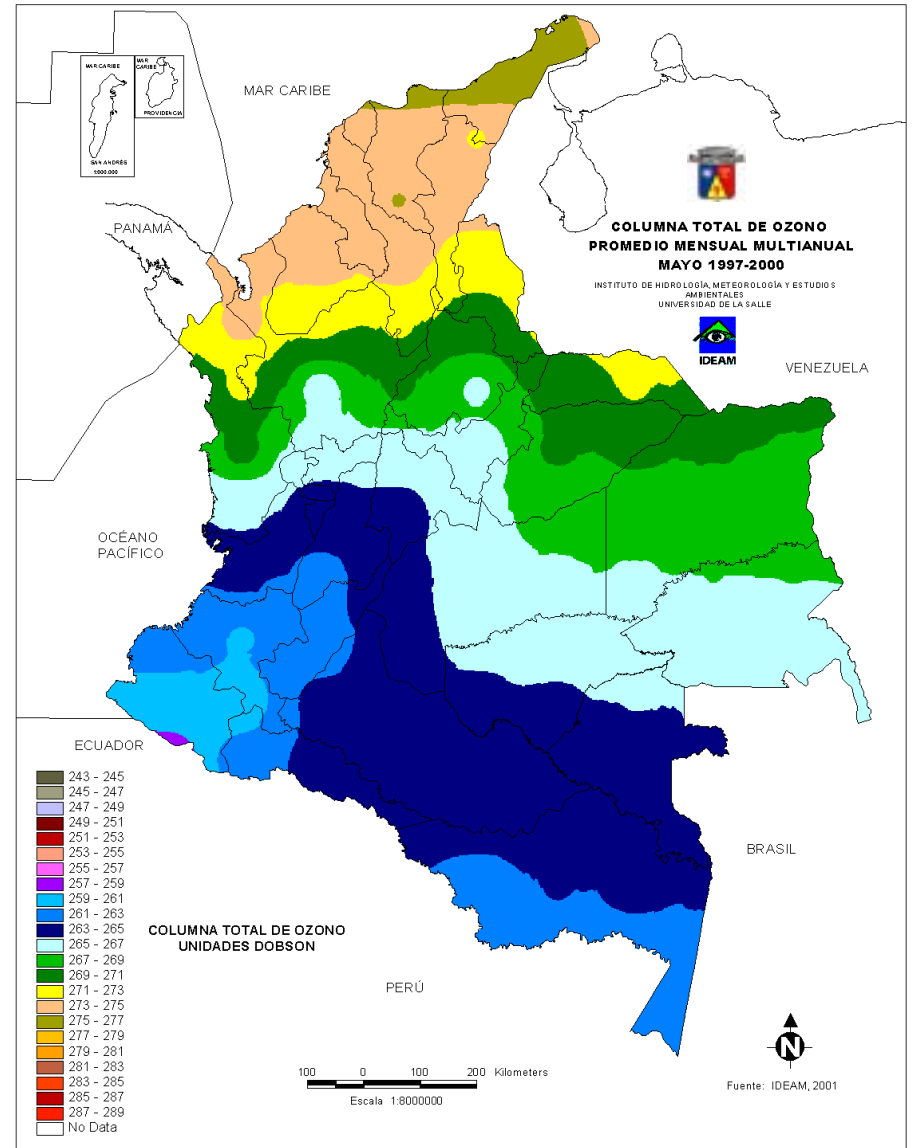
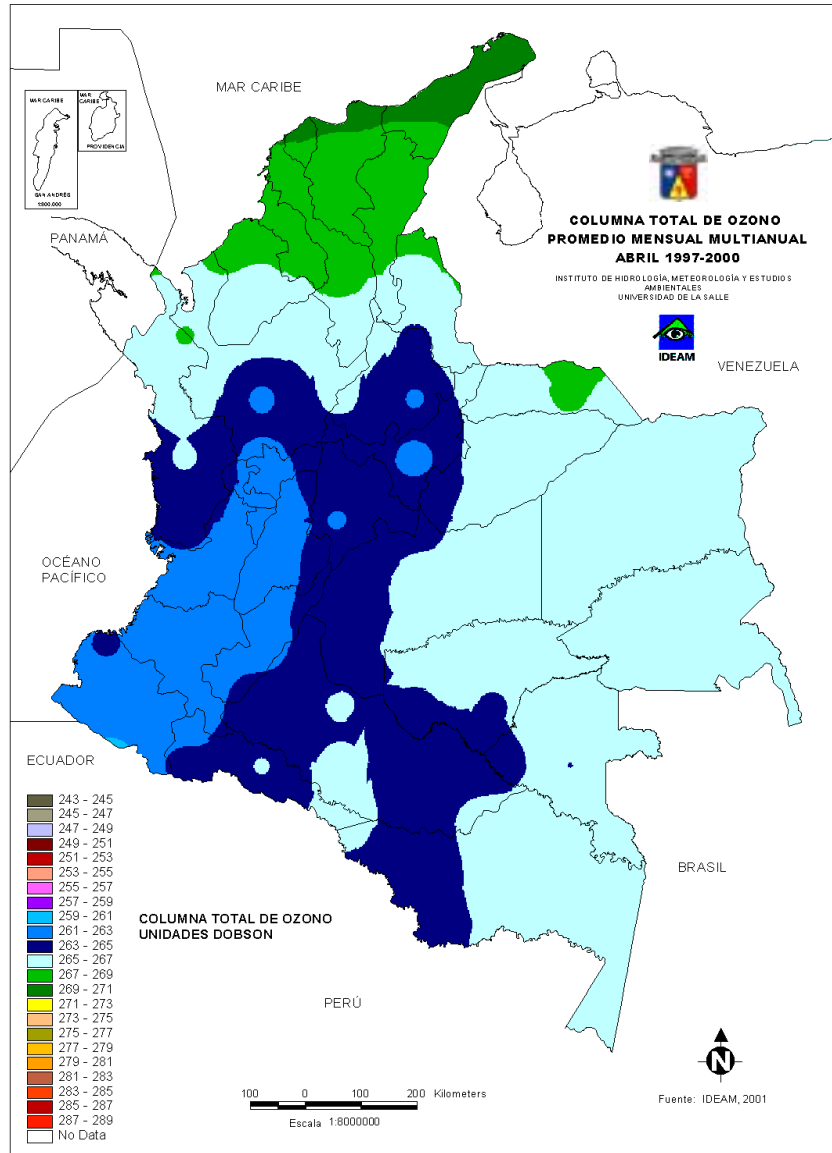
- Mejorar la red instalando un instrumento que mida en forma directa ozono en la columna total que puede ser un Espectrofotómetro Dobson o un Brewer para con estas medidas en tierra calibrar los datos obtenidos del satélite.
- Actualizar continuamente la base de datos obtenidos con los programas elaborados en este proyecto.
- Iniciar proyectos de investigación interdisciplinarios para determinar los efectos de la Radiación Ultravioleta en la salud humana y en los ecosistemas acuáticos y terrestres.
- Enriquecer la investigación del medio ambiente atmosférico en Colombia contemplando otras variables como los aerosoles, gases de efecto invernadero y otros contenidos de sustancias que deterioran directa e indirectamente la capa de ozono.

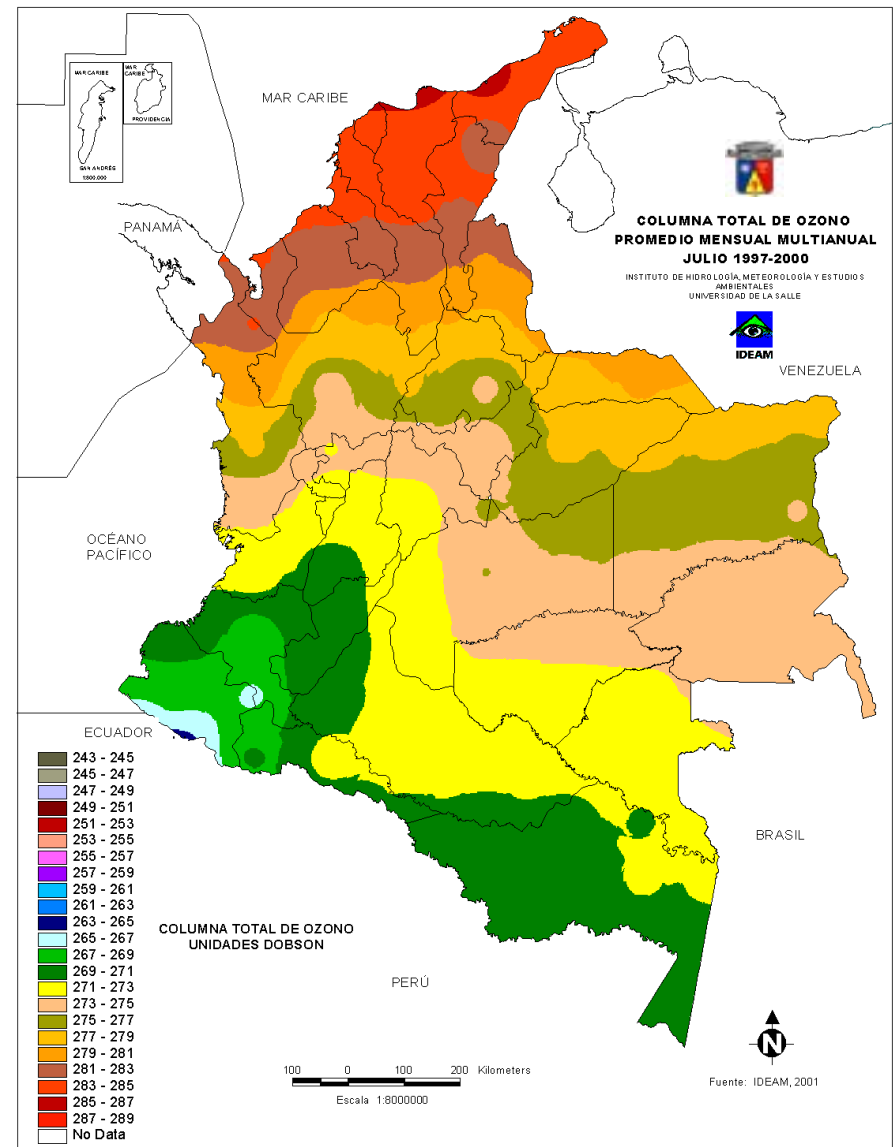
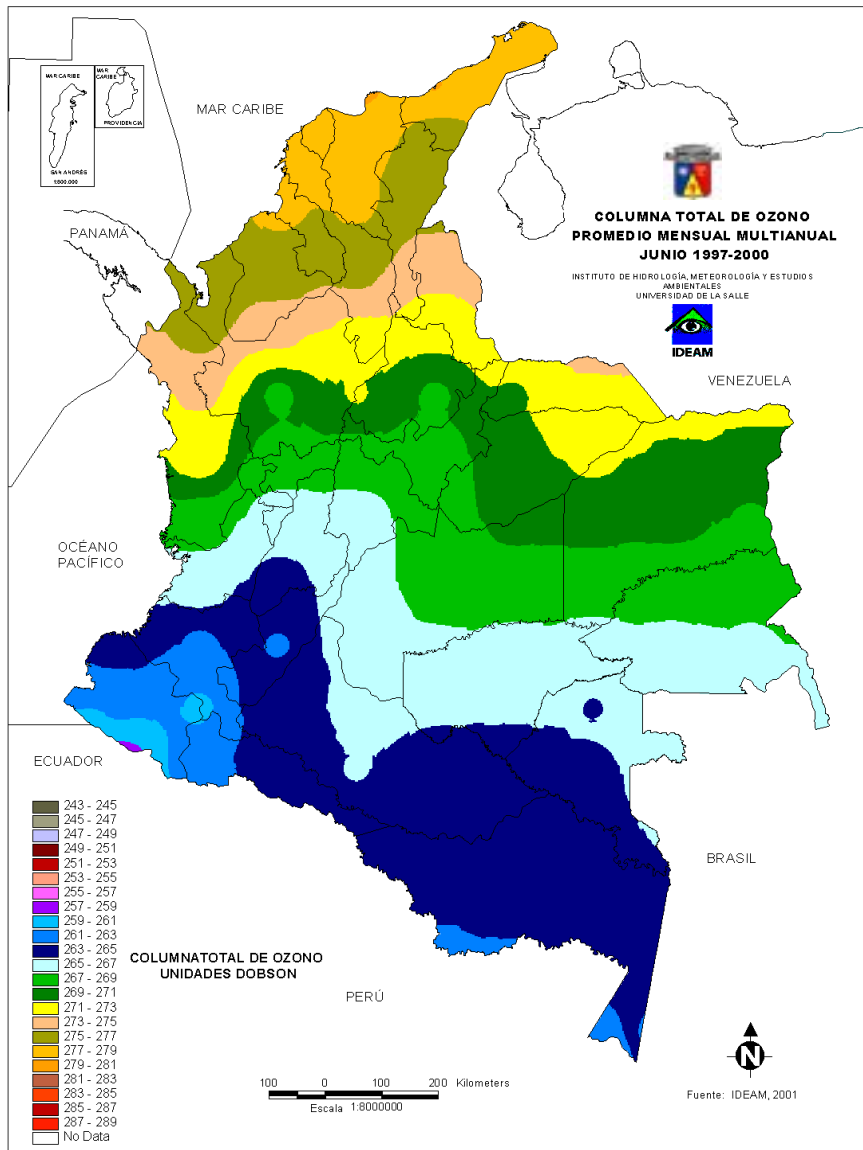
ANEXOS

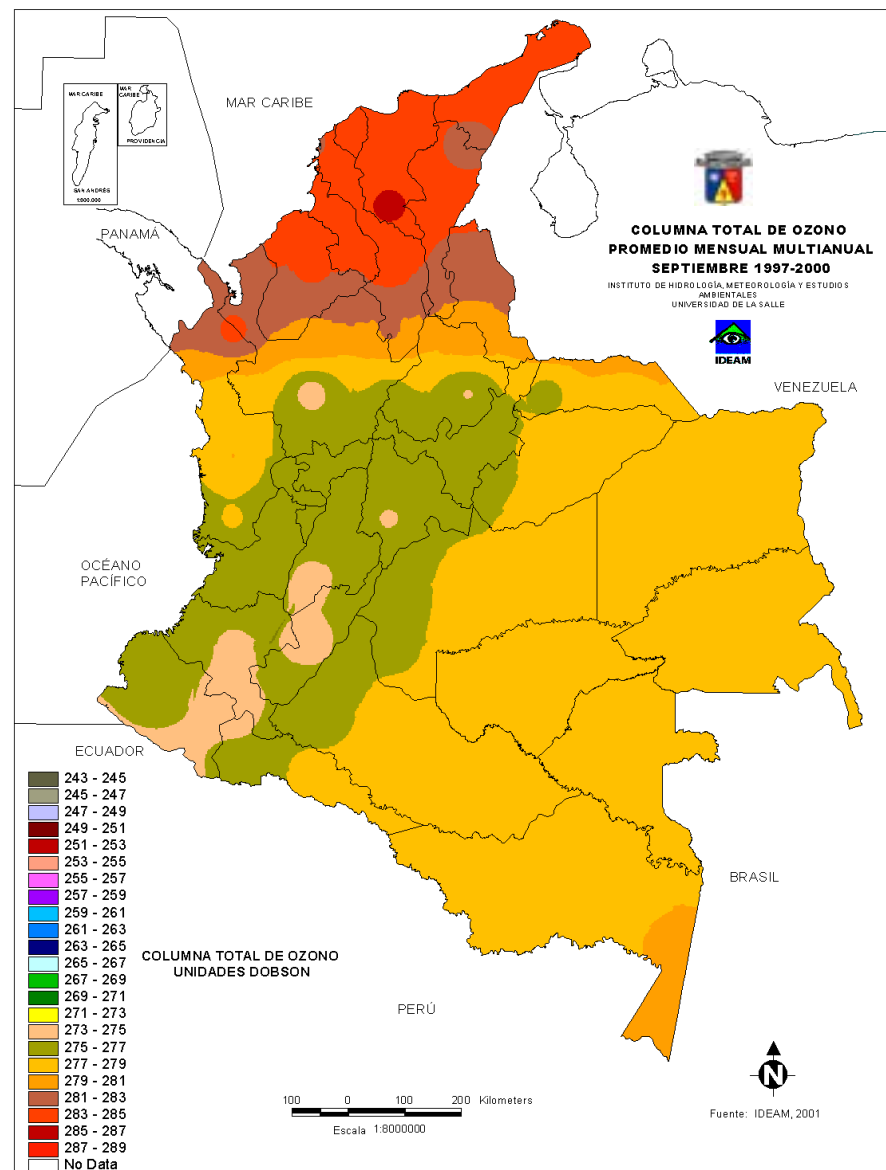
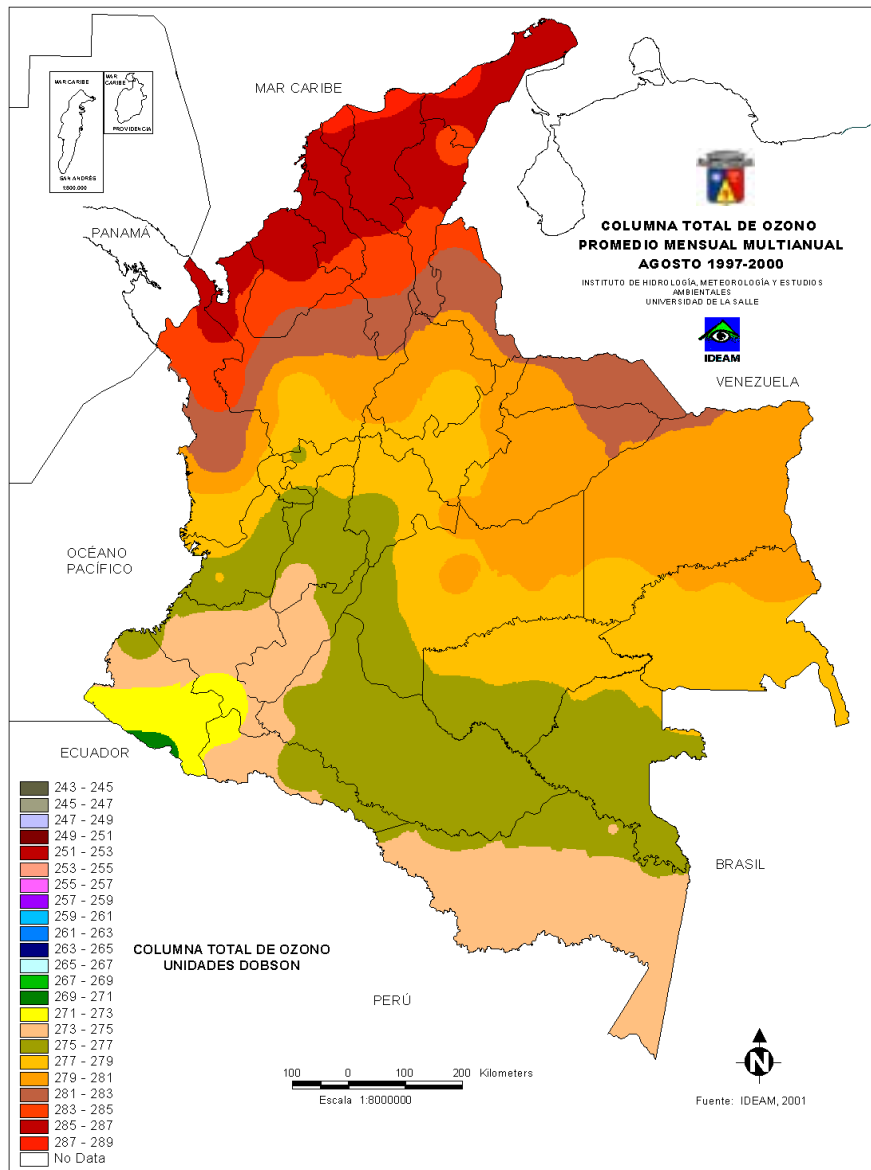
MAPAS DE COLUMNA TOTAL DE OZONO MENSUALES - MULTIANUALES PARA COLOMBIA

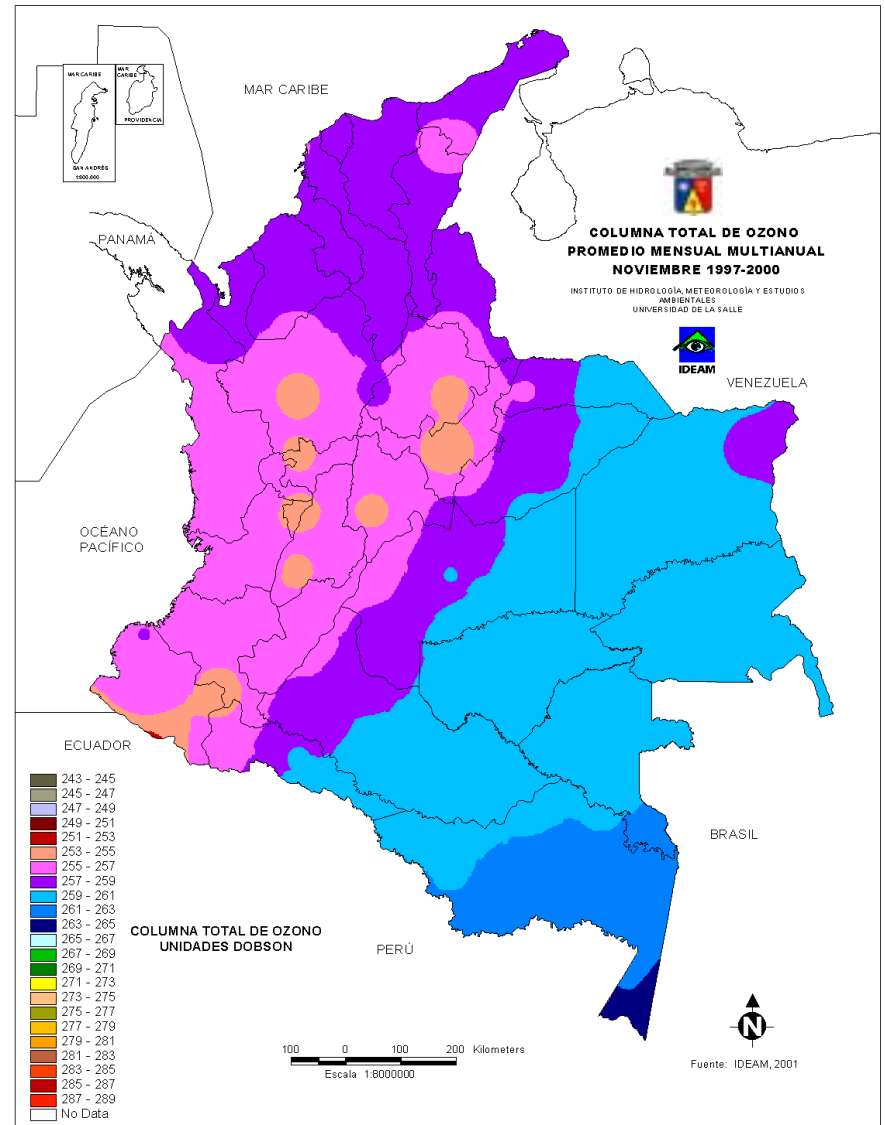
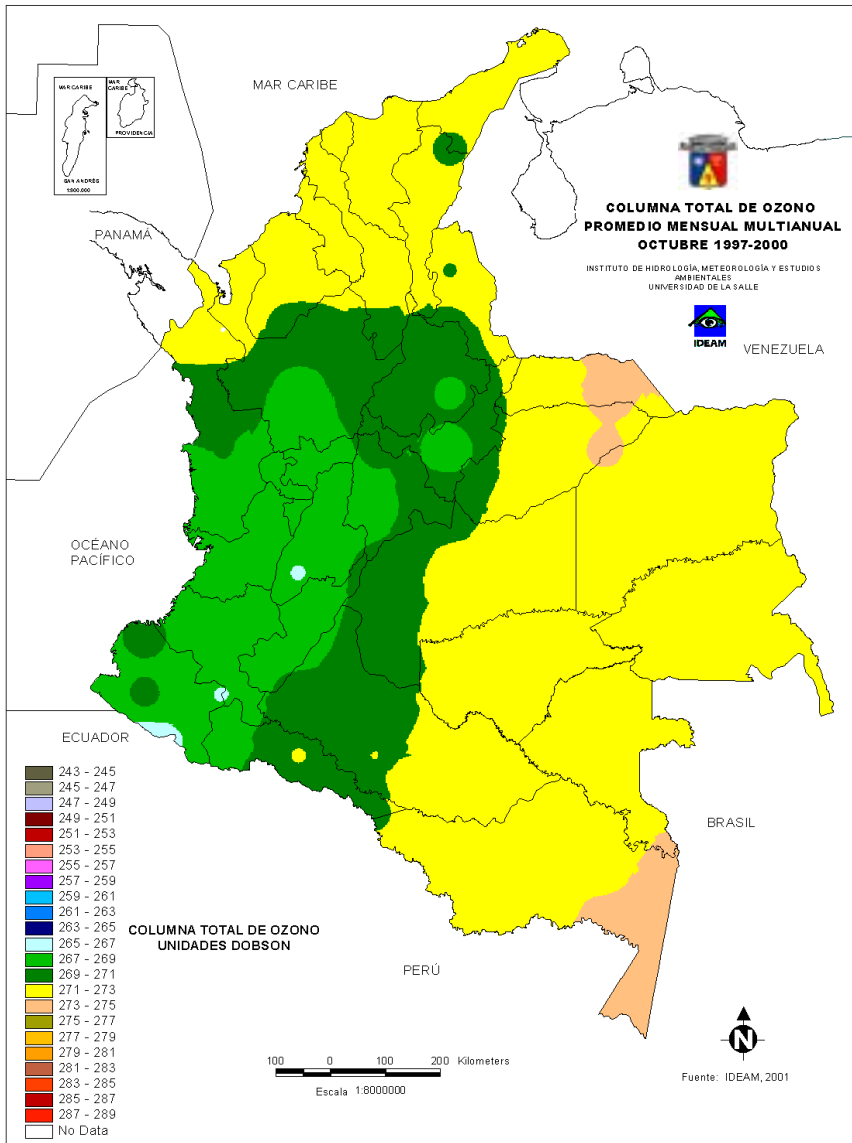


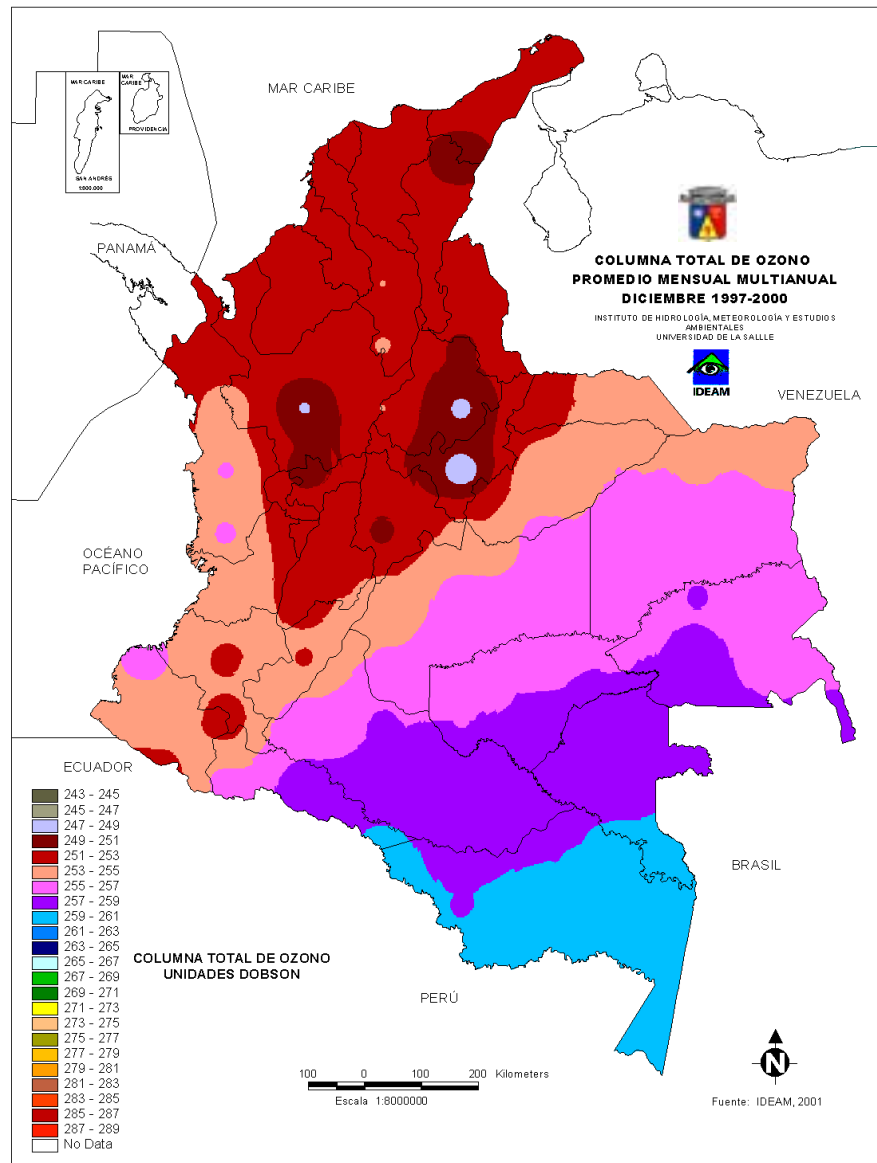




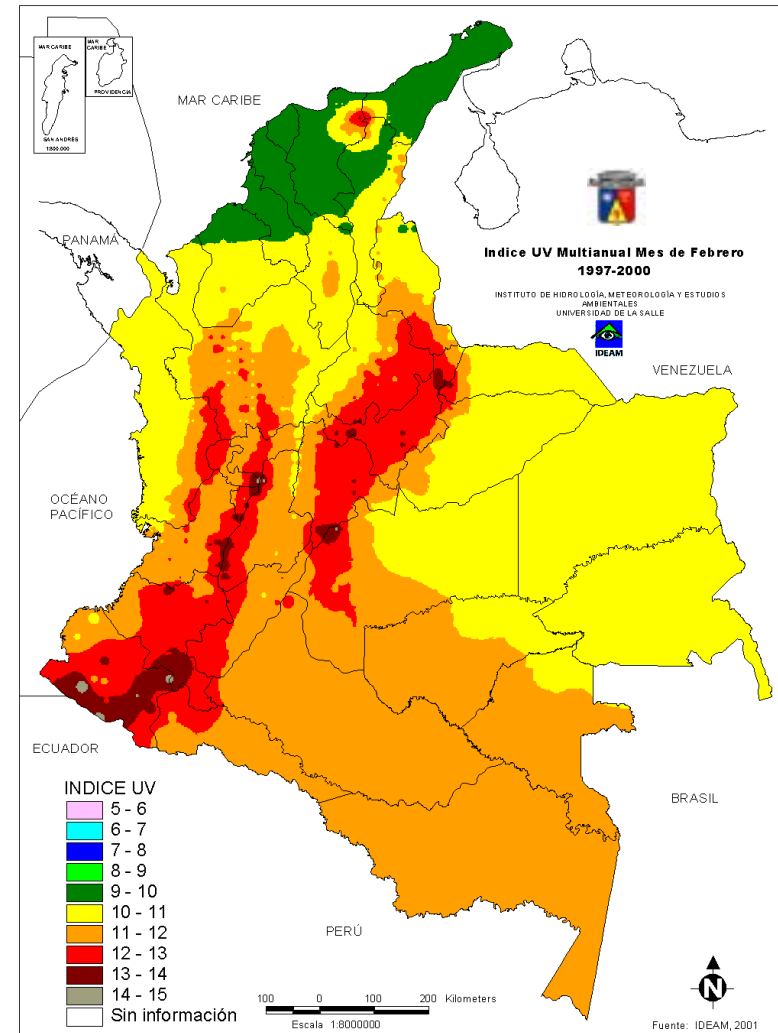
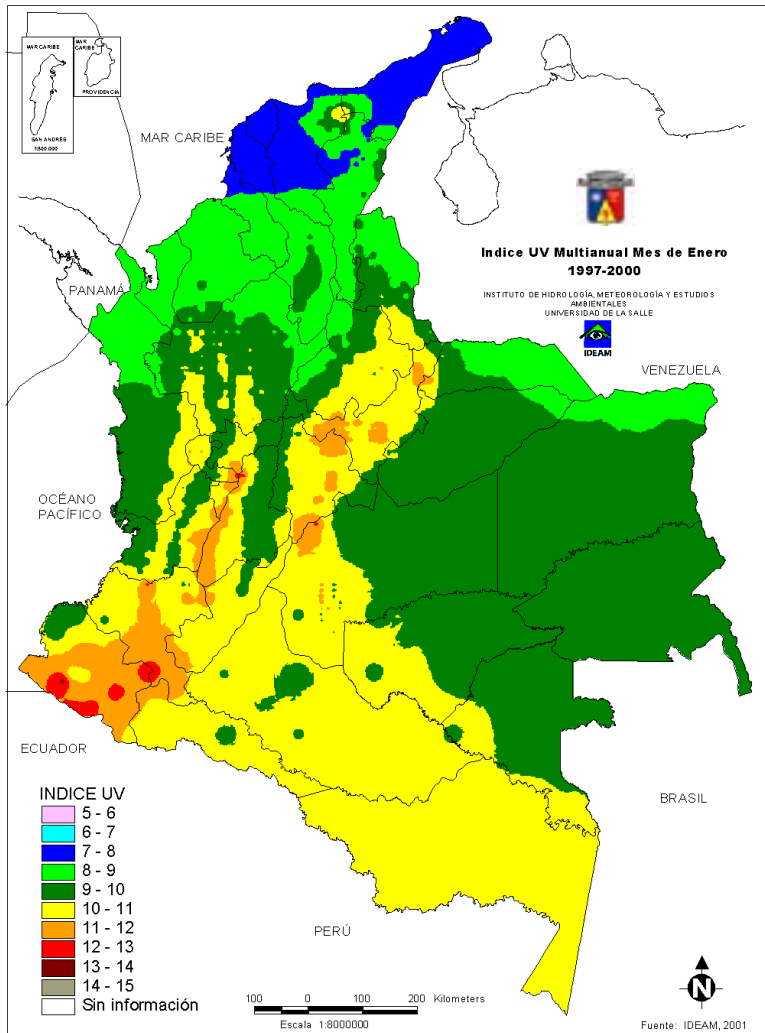


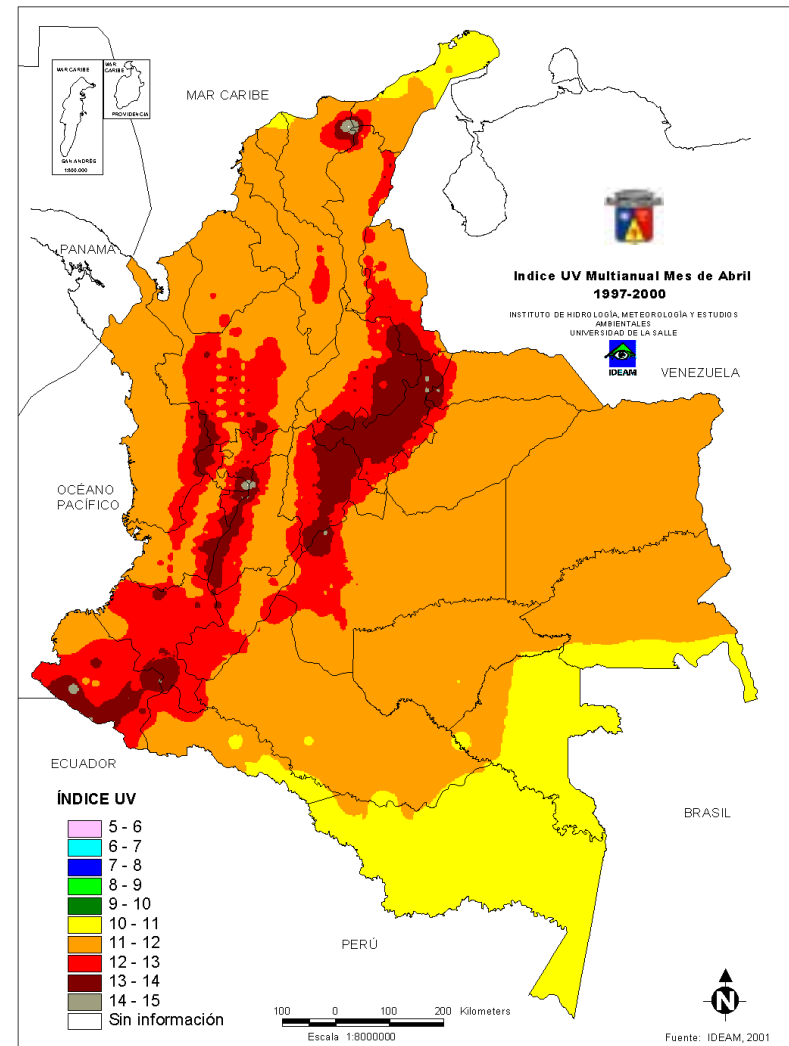
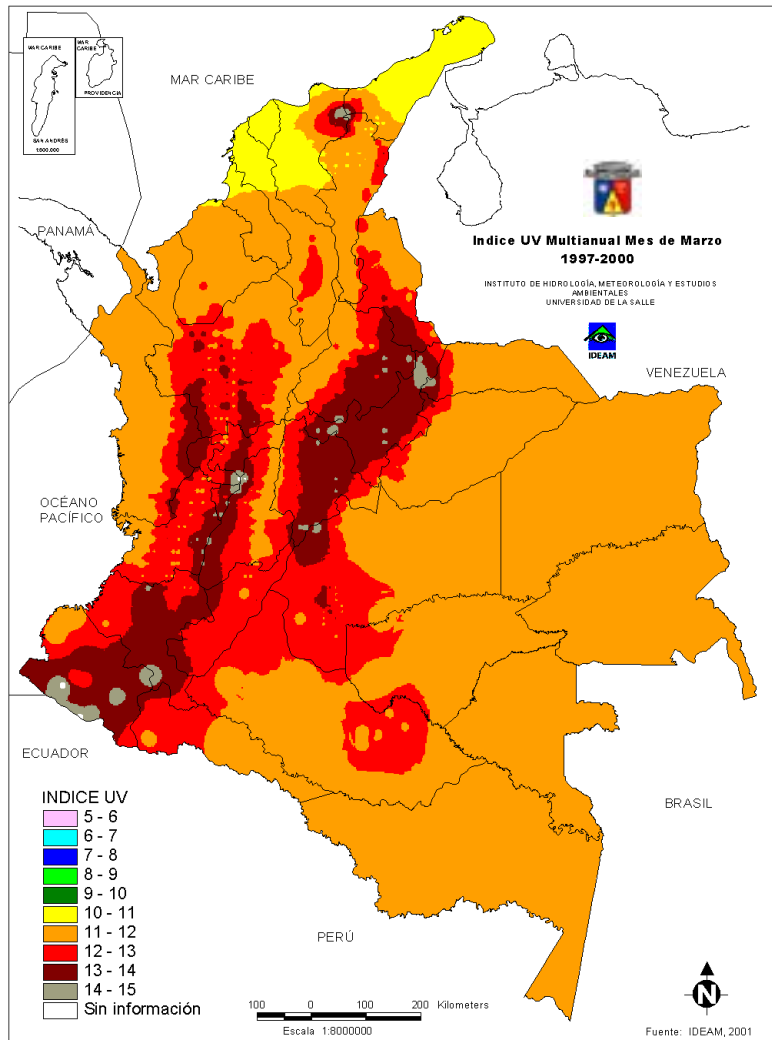


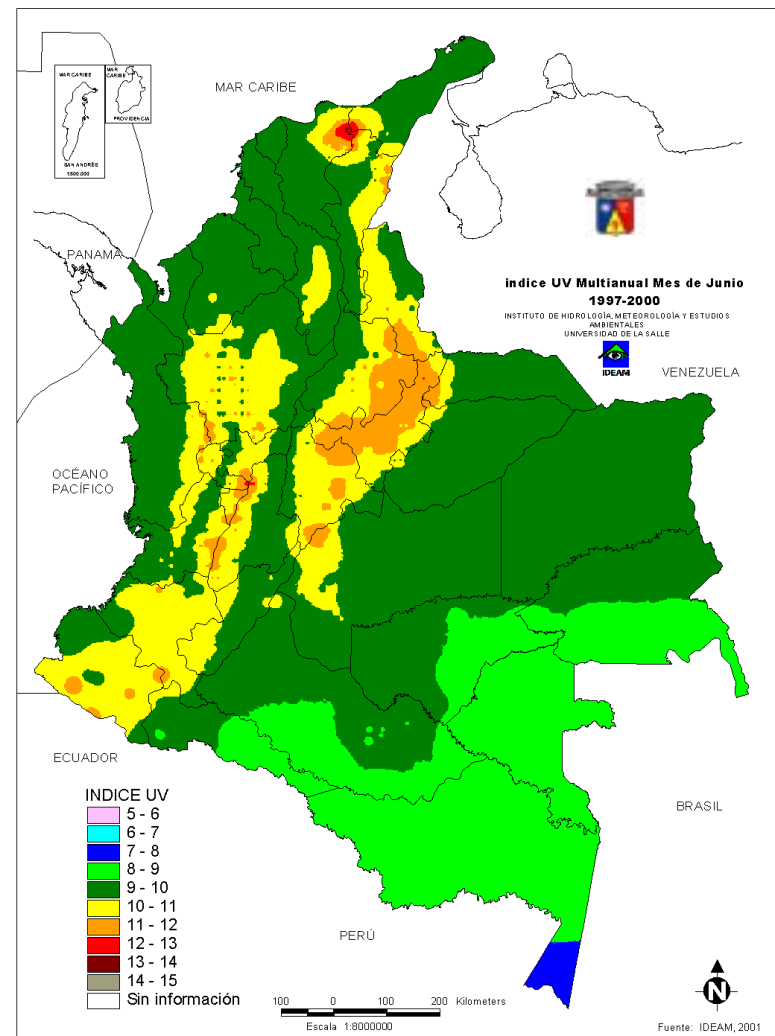
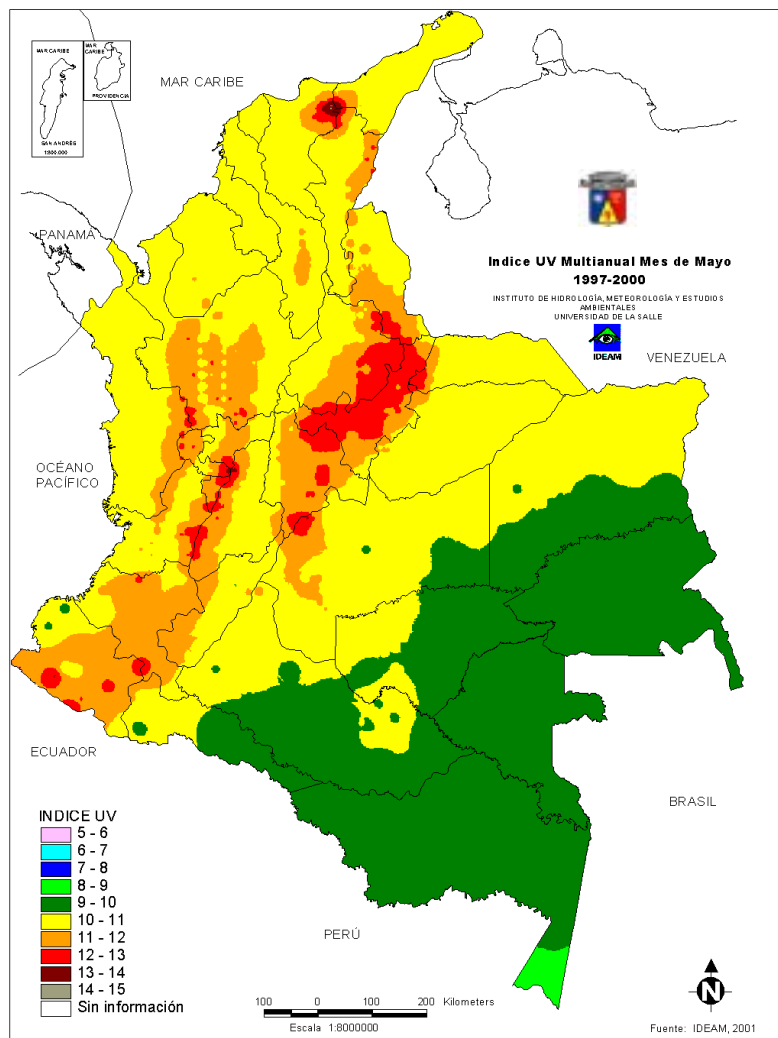


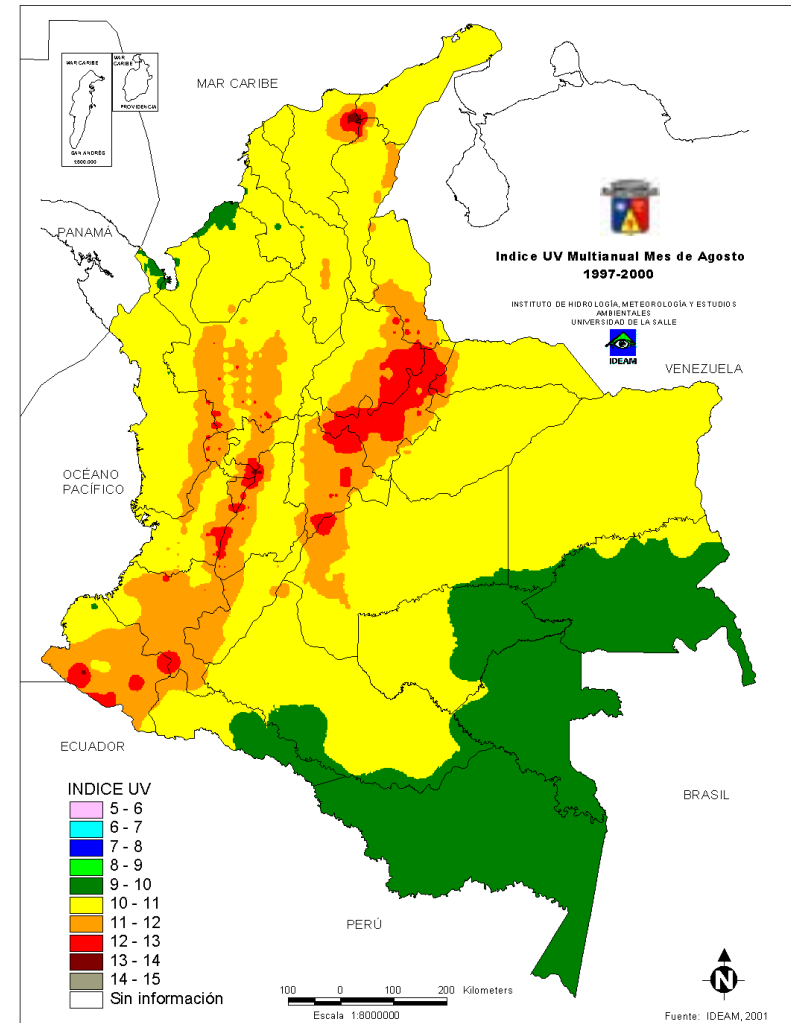
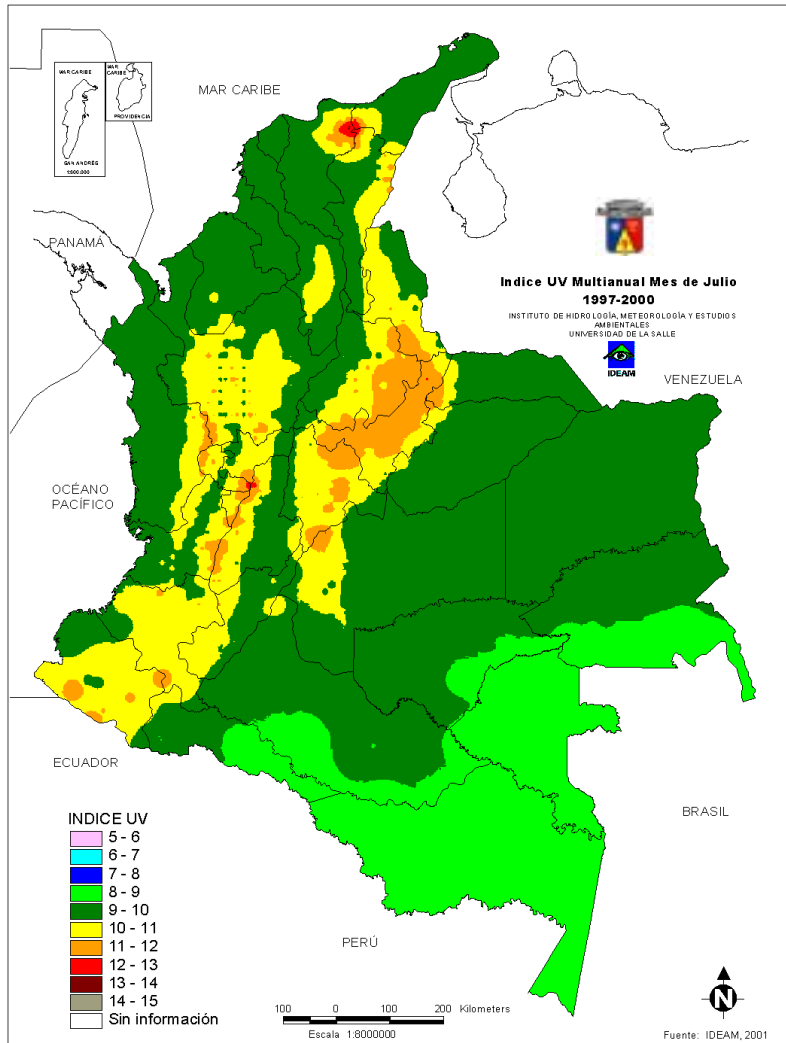


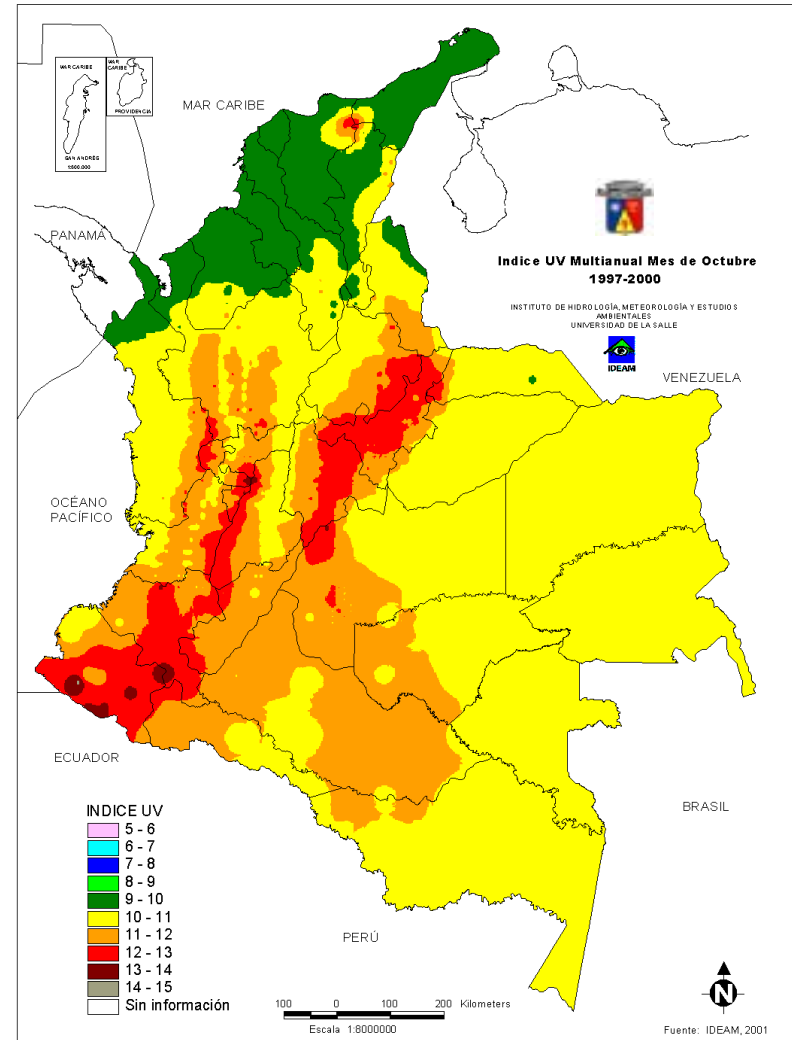
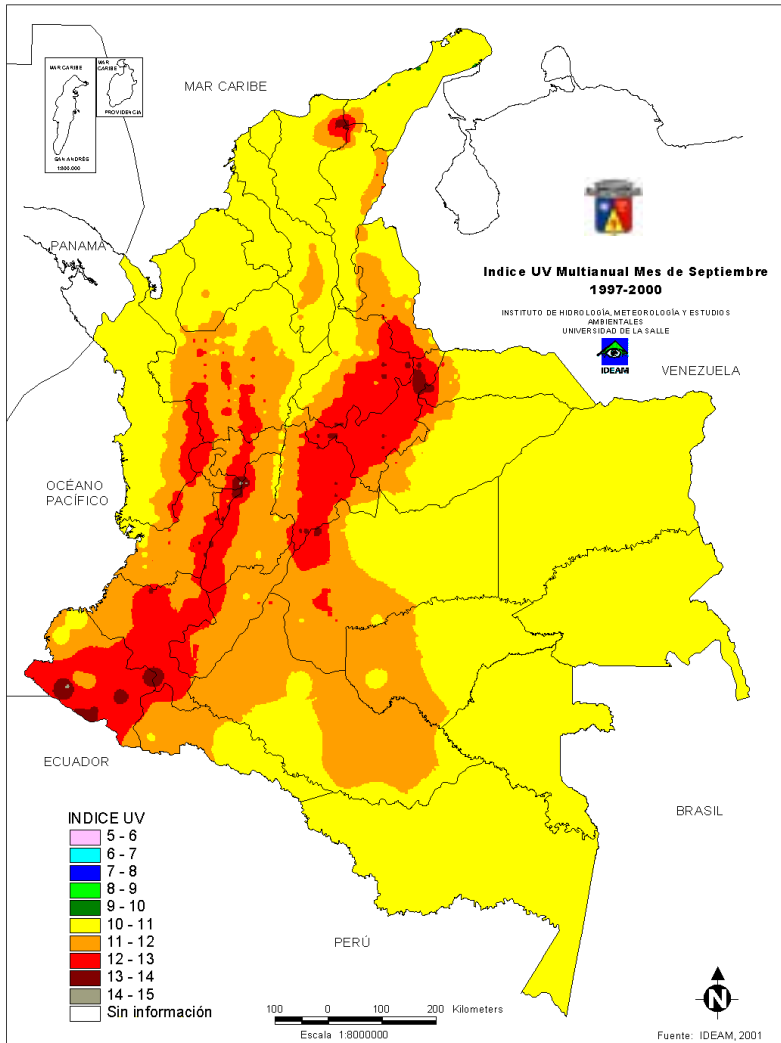
MAPAS DE INDICES UV - MULTIANUALES PARA COLOMBIA (1997-2000)

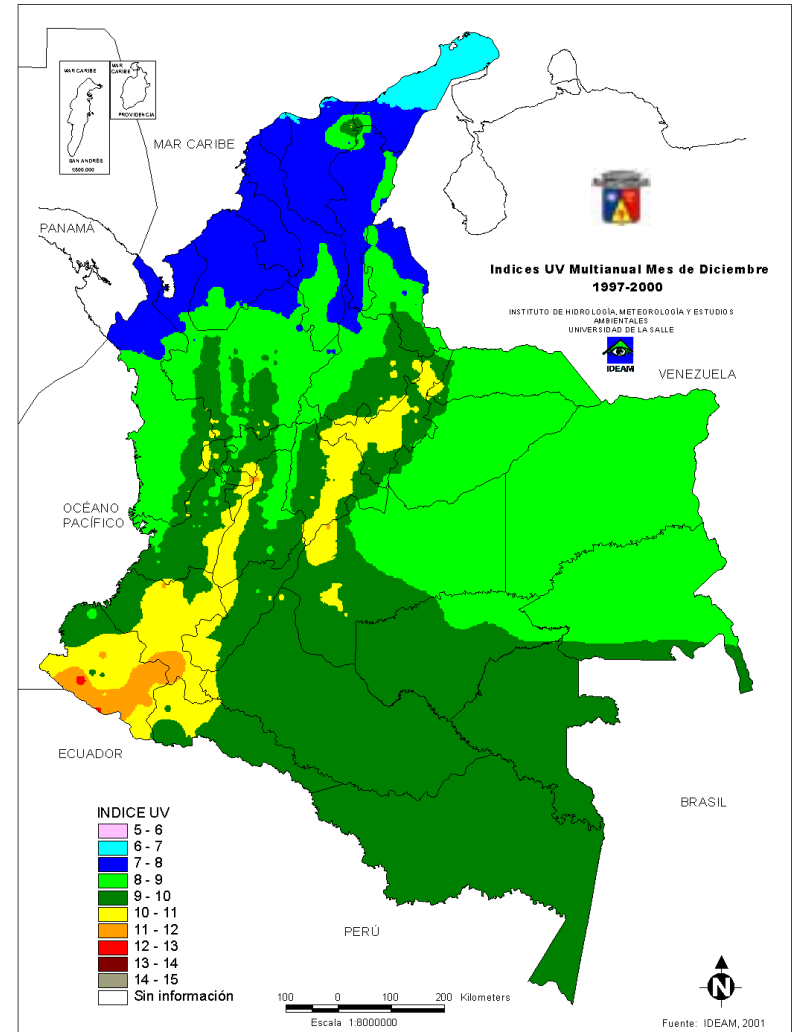
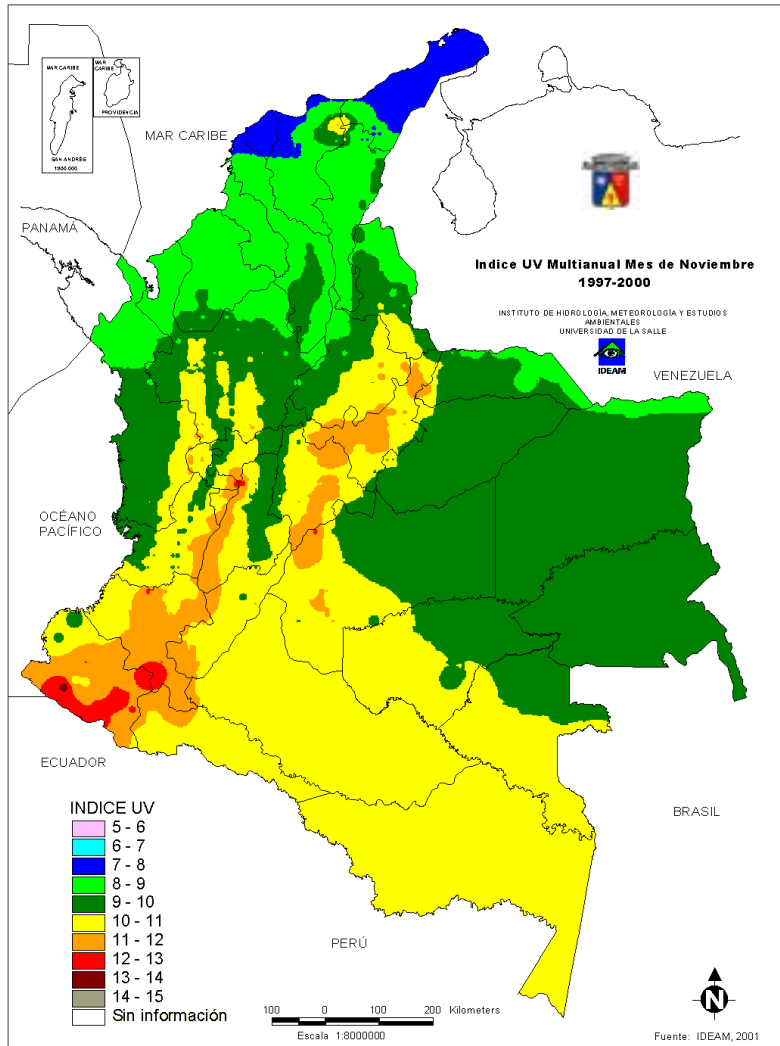


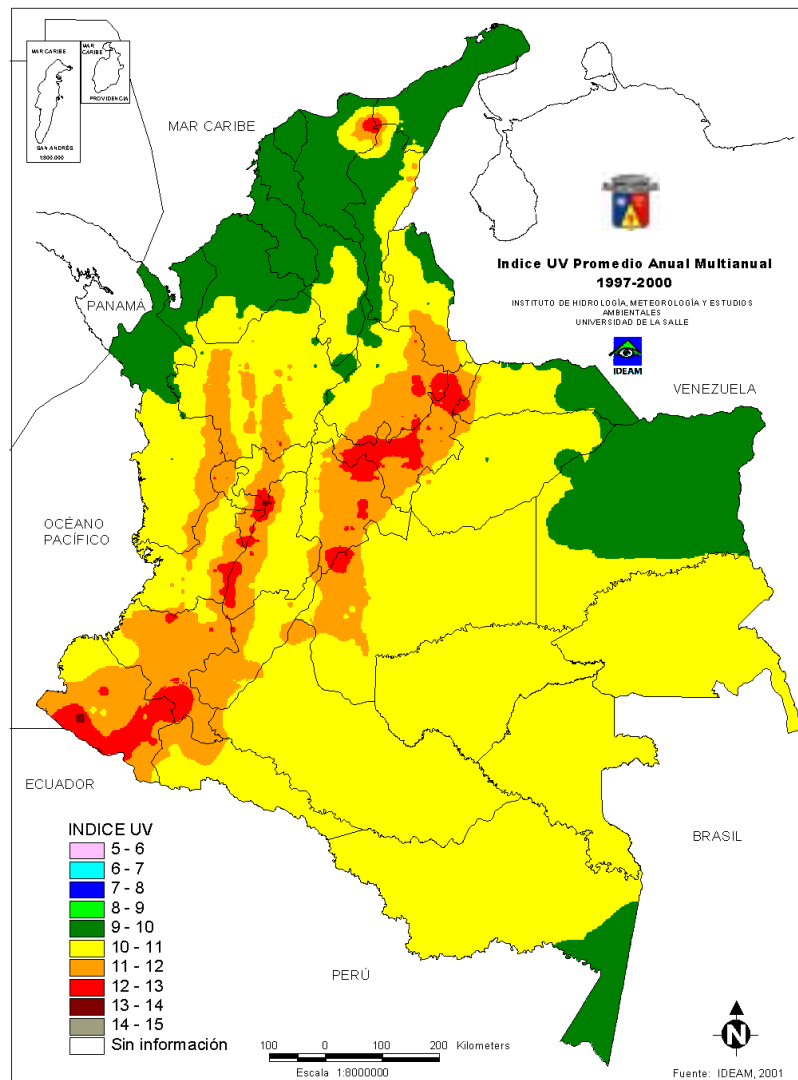












Glosario

AMBIENTE: Es el conjunto en un momento dado de los agentes físicos, químicos biológicos y los factores sociales susceptibles a causar efecto directo o indirecto sobre los seres vivos y las actividades humanas. Relación con el medio.

ATMOSFERA: Es una mezcla fluida de gases llamada aire que rodea la tierra, envolviéndola en capas concéntricas de espesor y densidades variables. Filtra la mayor parte de los rayos ultravioleta, sin ella no sería posible la vida.

CAPA DE OZONO: El ozono está esparcido a los 35 Km de la tierra, que si se le comprimiera formaría una capa en torno a ella, no más gruesa de 1 cm, sirve como escudo protector contra las dañinas radiaciones ultravioleta del sol.

ESPECTRO: Todas las radiaciones, visibles o no están constituidas por ondas electromagnéticas asociadas a fotones. Estas ondas se caracterizan por su longitud de onda λ , o por su frecuencia $\nu = c/\lambda$, donde c es la velocidad de la luz. La distribución de la energía de estas ondas, o de la frecuencia recibe el nombre de espectro de la fuente de luz. Tenemos los rayos gamma, rayos X, rayos XUV (o blandos), rayos ultravioleta (UV), la radiación visible, rayos infrarrojos (IR).

INDICADOR AMBIENTAL: Es una variable que proporciona una información sintetizada, comprensible y científicamente válida a cerca del medio ambiente, cuya utilidad se ve en el proceso de toma de decisiones.

IRRADIANCIA: Es la cantidad de energía radiante que incide sobre una superficie por unidad de área y por unidad de tiempo, en otras palabras, es la razón (o velocidad) a la que la energía está llegando a una superficie de área unitaria.

OZONO: Gas atmosférico constituido por moléculas triatómicas de oxígeno (O₃). El ozono es una molécula no lineal con un ángulo de enlace de 127° y un dipolo permanente de $1.77 \times 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}$. Se encuentran en la atmósfera terrestre tres especies isotópicas del ozono, presentándose éstas en proporciones atmosféricas de 99.28%, 0.203% y 0.406% respectivamente, donde para cálculos atmosféricos, solo se toma en cuenta el isótopo $^{16}\text{O}^{16}\text{O}^{16}\text{O}$ por su abundancia relativa y su capacidad de absorción.

LONGITUD DE ONDA: En una onda, distancia entre dos valles adyacentes.

RADIACIÓN SOLAR: Son ondas electromagnéticas provenientes del sol. Es la única fuente de energía prácticamente estable y en cuantía suficiente para determinar los mecanismos de la biogeoquímica de la vida.

UNIDAD DOBSON: (UD) Es la unidad de medida para el Ozono, corresponde a una milésima de un centímetro de espesor del ozono puro en condiciones normales. Esta unidad es también llamada miliatmocentímetro.

VIGILANCIA ATMOSFERICA: Control, investigación y evaluación continua para detectar los cambios en las concentraciones de gases, en la capa de ozono, en el transporte de contaminantes, entre otros.

Bibliografía

[1] Baadsgaard, O., C.H. Wulf, G.L. Wantzin, K.D. Cooper. *UV-B and UV-C, but not UV-A potentially induce the appearance of T6-Dr+ antigen presenting cells in human epidermis.*, J. Invest. Dermatol., 89, 113-118, 1987

[2] Bolle, H.J. *Infrared Radiation, lecture presented at the course on physical climatology for solar and wind energy*, ICTP-Trieste (Italy), 1986.

[3] Booth C.R., Morrow J.H., Schmidt. *UV-B Irradiance Monitoring Network Design and Demonstration*. Biospherical Instruments Inc. San Diego, CA. 1995

[4] Booth C.R., Lucas T.B., Morrow J.H., Weiler C.S., Penhale P.A. *Ultraviolet Radiation in Antarctica: Measurements and Biological Effects The Unites States National Science Foundation's Polar Network for Monitoring Ultraviolet Radiation*. Antarctic Research Series, Vol. 62, pp 17-37.

[5] Booth C.R., Madronich S. *Radiation Amplification Factors: Improved formulation accounts for large increase in ultraviolet radiation associated with antarctic ozone depletion. Ultraviolet Radiation in Antarctica: Measurements and Biological Effects* Antarctic Research Series, Vol. 62, pp 39-42.

[6] Cooper K.D., L. Oberhelman, G. LeVee, O. Baadsgaard, T. Anderson, K. Koren. *UV exposure impairs contact hypersensitivity in humans, correlation with antigen presenting cells, poster of ongoing research presented at the 1991 annual meeting of the American Society for Photobiology*, San Antonio, Texas, Junio 22-26, 1991.

[7] Campos D. *Fundamentos de Física Atómica y Molecular* Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Física, 1995

[8] Chanine, M. T. *Inverse Problems in Radiative Transfer: Determination of Atmospheric Parameters*. Journal of the Atmospheric Sciences. Vol. 27, 960-967. Sept. 1970.

[9] EPLAB. *Instrumentation for the Measurement of the components of Solar and Terrestrial Radiation*. The Eppley Laboratory , Inc. Newport, R.I. USA. 1995

[10] Epstein E., Osterbrg C. *A new Method for the Determination of ther vertical Distribution of Ozone from a Ground Station*. *Journal of Meterorology*. Vol 13. No. 4. Agosto de 1956.

[11] Emmet, E.A., *Ultraviolet radiation as a cause of skin tumors*, CRC Crit, Rev. Toxicol.,2, 211-255,1973

[12] Frölich C., London J. *Revised Instruction Manual on radiation Instruments and measurements*. WCRP publications series No. 7. 1986

[13] Gónima, L. *Validation of a radiation model for estimation of longwave net radiation at the surface*. Climate Research. Vol. 2, 55-63, 1992.

[14] Gónima L. *Eine Untersuchung über die langwellige Strahlungsbilanz am Erdboden unter verschiedenen Bedingundgen* . Zeitschrift für Meteorologie. 38, 1988.

[15] Goody R.M., Yung Y. *Atmospheric Radiation, Theoretical Basis*. Oxford University Press. 1989

[16] Hahne A. *The Ozone saga, the GOME experiment and the Nobel story*. Earth Observation Quarterly. European Space Agency. No. 51. March 1996

[17] Iribarne. *Física de la Atmósfera*. Editorial Universitaria de Buenos Aires. 1970

[18] Johnson, G., D. Minassian, and S. Franken. *Alterations of the anterior lens capsule associated with climatic keratopathy*. Bri. J. Ophthalmol., 73, 229-334, 1989

[19] Kipp & Zonen. *Scientific Narrowband UV Radiometers Global Radiation*. Kipp & Zonen Mercuriusweg-Delft-Holland. 1995.

[20] Kourganoff V. Busbridge I. *Basic Methods in Transfer Problems. Radiative Equilibrium and Neutron Diffusion*. Dover. 1963

[21] Linke, F., Baur, F. *Meteorologisches Taschenbuch Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K-G, Leipzig 1970*.

[22] McClatchey R.A., Fenn R.W., Selby J.E.A., Volz F.E., Garing J.S. *Optical Properties of the Atmosphere*. Air Force Cambridge Research Laboratories, 1972.

[23] Morys M., Mims F., Anderson S. *Design, calibration and performance of Microtops II hand-held ozonometer*. 12th International Symposium on Photobiology. Viena, 1996

[24] Mitchell, B. G., *Action Spectra of ultraviolet photoinhibition of Antarctic phytoplankton an a model of spectral diffuse attenuation coefficients*, Appedix g., pp. 1-15 in Proceedings of Workshop on "responses of Marine Phytoplankton to Natural Variations in UV-B flux. Scripps Institution of Oceanography, May 1990

[25] NOAA, EPA *Technical Appendices to the Experimental UV Index Factsheet*. National Oceanic and Atmospheric Administration, Environmental Protection Agency, June 1994

[26] NOAA, EPA. *The experimental ultraviolet index Factsheet: Explaining the index to the Public*. National Oceanic and Atmospheric Administration, Environmental Protection Agency, June 1994

[27] OMM. *Evaluación Científica de la destrucción del Ozono*. Organización Meteorológica Mundial. 1994

[28] Scheibner, A., D.E., Hollis, E. Murray, W.H. McCarthy and G.W. Milton, *Effects of exposure to ultraviolet light on epidermal Langerhans cells and melanocytes in Australians of Aboriginal, Asian and Celtic descent*. *Ptodermatol.*, 3, 14-25, 1987.

[29] Simbaqueva F., Collante E. *La capa de ozono y primeros resultados del monitoreo de la radiación ultravioleta en Colombia*. Resúmenes IV Congreso Colombiano de Meteorología. Santafé de Bogotá. 1996

[30] Simbaqueva F. Chacón C. *Reporte a la Organización Meteorológica Mundial sobre la puesta en marcha de la red colombiana de monitoreo de Radiación Ultravioleta*. OMM, 1998

[31] Spitz M. R., J. G. Sider, G. R. Newell, J.G. Batsakis, *Incidence of salivary gland cancer in the United States relative to ultraviolet radiation exposure*, *Head Neck Surg.*, 10, 305-308, 1998

[32] Spruance, S. L. *Pathogenesis of herpes simplex labialis. Experimental induction of lesions with UV light*, *J. Clin. Microbiol.*, 22, 366-368, 1985.

[33] Stevens, M.A. and J.P. Bergmanson. *¿Does sunlight cause premature aging of the crystalline lens?* *J. Optometric Assn.*, 60, 660-663. 1989

[34] Teramura, A.H., J.H. Sullivan, J. Lydon, *Effects of UV-B radiation on soybean yield and seed quality: a six year field study*, *Physiol. Plant.*, 80, 5-11, 1990a.

[35] United nations Environment Programme. *Environmental Effects of Ozone Depletion, Panel Report pursuant to Article 6 of th Montreal Protocol on substances that Deplete the Ozone Layer*. UNEP. 1991

[36] Vaisala. *Ozonosonde User's Guide*. Vaisala Corporation. 1996

[37] Vincent F.V., Roy S. *Solar ultraviolet-B radiation and aquatic primary production: damage, protection, and recovery*. Environ Rev. Vol 1. 1993

[38] WMO. *Scientific Assessment of Ozono Depletion*. Global Ozone Research and Monitoring Project Report. No. 25, 1992

[39]WMO. *WMO surface meeting of Experts on Surface O₃ data. Their Analysis and Related Issues*, Geneva, Switzerland, 1992

[40] Zmudzka, B. Z. and J.B. Beer, *Activation of human immunodeficiency virus by ultraviolet radiation*, Photocem, Photobiol., 6. 1153-62, 1990

[41] Simbaqueva, O. Chacon, C. Orjuela, C. *Radiación Ultravioleta y Ozono sobre Colombia*, Ideam, Colombia, Diciembre, 2000.

[42] Frederick, C. *Métodos estadísticos* , Columbia University, Aguilar, 1970

[43] Chebil, M. Tabocchini, H. *Variaciones del espesor de la ozonosfera sobre Buenos Aires y su relación con las condiciones meteorológicas de la troposfera y la estratosfera*, Fuerza Aérea Argentina, 1976