

RESULTADOS PRELIMINARES DEL MONITOREO DE LA RADIACIÓN UVB EN LA CIUDAD DE PANAMA

Por

Pino, Alfonso; Guerra, Sergio; Sanchez, Nestor; Maturell, Alvaro; * Espinosa, Jorge.
Departamento de Física

RESUMEN:

Se presentan los resultados preliminares del monitoreo de la radiación UVB en la ciudad de Panamá, para el mes de julio de 1997. Mediante un radiómetro de banda ancha, modelo 501 UV-Biometer, está siendo medida, a partir del 1 de julio, tanto la irradiancia UVB (280 a 315 nm) como la dosis biológicamente efectiva de la radiación UVB que se registra a nivel local. Los valores de irradiancia y de dosis, los cuales se encuentran biológicamente ponderados a través del Espectro de Acción de Eritema, se almacenan cada 5 min. en el registrador que se encuentra acoplado al detector. Los datos son enviados a una microcomputadora Packard Bell, de donde se bajan mediante un Programa de Comunicación. Las unidades de irradiancia y de dosis se encuentran expresadas en MED/h y MED (Minimun Erythema Dose), respectivamente. El MED se define como la dosis de radiación UVB capaz de causar un eritema mínimo en personas de piel blanca.

La curva de irradiancia UVB horaria media para el mes de julio es bastante simétrica, observándose un máximo a las 13:00 horas (hora local). Este máximo asciende a 3,0 MED/h, aproximadamente. Se observa, además, un rápido aumento de la irradiancia horaria media hasta alcanzar un valor máximo en horas del mediodía local. Este hecho es atribuible a la marcada dependencia existente tanto para la irradiancia como para la dosis con la altura solar. La curva de irradiancia horaria media para el mes de julio muestra una atenuación del 41% en los niveles que corresponden a un típico día claro. Por otro

lado, la curva de irradiancia horaria media para un día con cielo totalmente nublado (8 oktas) presenta una atenuación del 84% en los niveles de radiación UVB con respecto a los niveles característicos de un día claro. De lo anterior se desprende que, para nuestro clima, la nubosidad es un parámetro que incide de manera significativa en los niveles de dosis UVB.

* Meteorólogo (Sección de Meteorología de la Comisión del Canal de Panamá)

INTRODUCCIÓN:

El proceso de deterioro de la columna de ozono estratosférico causada fundamentalmente, por la actividad de los clorofluorocarbonos (CFC), ha generado un creciente interés a nivel mundial por el estudio y la caracterización de los niveles de radiación ultravioleta en diversas latitudes.

De acuerdo con la clasificación establecida por el congreso del Comité Internacional de Iluminación celebrado en el año 1932, la radiación ultravioleta suele subdividirse en 3 bandas de longitudes de onda: UV-C (200-280nm), UV-B (280-315nm) y UV-A (315-400nm). La radiación ultravioleta cuya longitud de onda es inferior a los 280 nm es absorbida completamente por cantidades relativamente pequeñas tanto de O₃ estratosférico como de O₂ atmosférico. Esto significa que sólo las bandas UV- B y UV- A tienen relevancia en lo concerniente a los fenómenos fotobiológicos. No obstante, de estas dos bandas, los efectos

más nocivos se manifiestan en el rango de la UV-B.

Se ha comprobado que la exposición a la radiación UV-B induce la formación de cánceres de piel (Madronich and De Grujil, 1994), así como también incide en otros fenómenos fotobiológicos tales como la interferencia en el mecanismo de fotosíntesis, daños en el DNA, etc.

A través del presente trabajo, el grupo de Física de la Atmósfera del Departamento de Física de la Universidad de Panamá presenta un resumen preliminar concerniente a los niveles tanto de irradiancia como de dosis de UV-B, monitoreados durante el mes de julio de 1997. Para llevar a cabo dicho monitoreo se está utilizando un radiómetro de banda ancha, modelo 501 UV-Biometer manufacturado por la Solar Light Co.

INSTRUMENTACIÓN Y MÉTODO

Para el estudio de la radiación ultravioleta B, está siendo utilizado un radiómetro de banda ancha, modelo 501 UV-Biometer, manufacturado por la Solar Light Co. El radiómetro en mención es una unidad en la que se integran un sensor para la detección de radiación UVB y un registrador de datos (data logger) que efectúa todas las funciones de control y almacenamiento de los datos. La señal del sensor es amplificada y convertida a frecuencia dentro del detector y luego, transmitida al registrador. La cubierta metálica del detector está herméticamente sellada y presurizada con un gas neutro para la protección adicional del sensor y los circuitos. El detector lleva acoplado un desecador que remueve la humedad residual y sirve como un

indicador de ésta. El sensor del detector consta de filtros de absorción, fósforo y un diodo de GaAsP. El conjunto de estos componentes suministra una respuesta espectral muy cercana a la del Espectro de Acción de Eritema. El detector del radiómetro fue instalado horizontalmente en la azotea del edificio donde se encuentra ubicado el Instituto de Geociencias cuyas coordenadas son $8^{\circ} 58'$ de latitud norte, $79^{\circ} 39'$ de longitud oeste y una elevación de **50 metros** sobre el nivel del mar. Las mediciones de irradiancia UVB se realizan de manera continua y los datos se almacenan

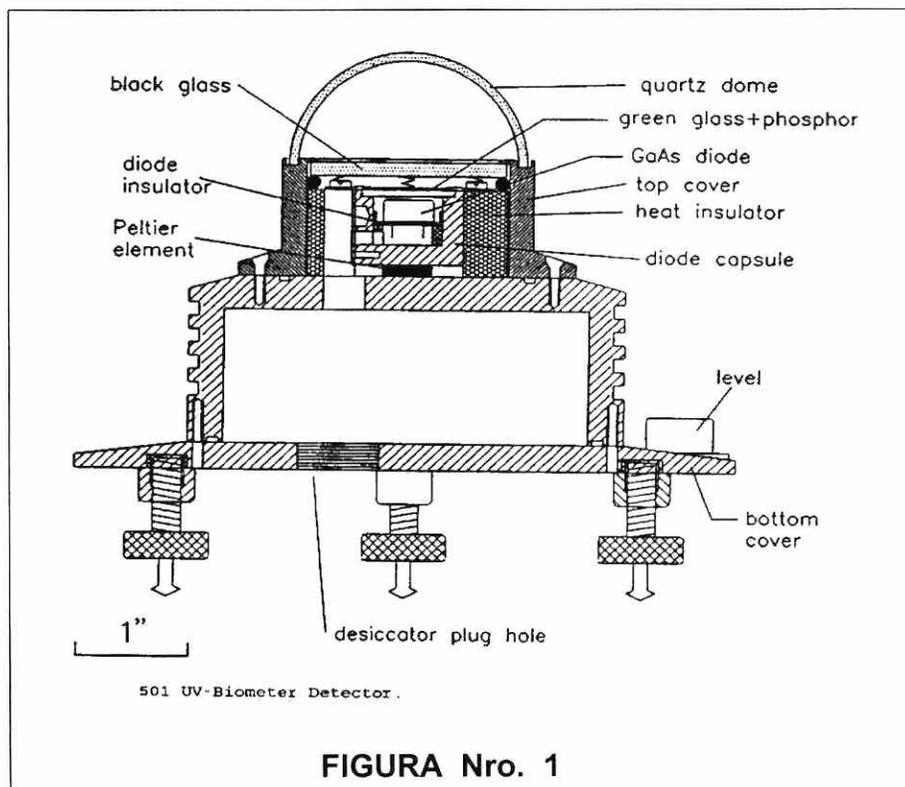


FIGURA Nro. 1

en el registrador, a intervalos de 5 minutos, entre las 6:00 AM y las 7:00 PM, todos los días. En la figura 1 se muestra el detector de la unidad.

Las lecturas de irradiancia UVB se dan en MED/Hr, en un rango entre 0 y 9.99 MED/Hr, con una resolución de 0.01 MED/Hr (Minimum Erythema Dose per Hour), en donde 1 MED se define como la **dosis de radiación UVB capaz de causar un eritema mínimo en personas de piel blanca** (Josefsson, 1996).

El equivalente de la unidad MED en el sistema internacional es el siguiente:

$$1 \text{ MED} = 210 \text{ J/m}^2$$

Los procesos fotobiológicos y fotoquímicos responden de manera distinta a diferentes zonas del espectro UV. La efectividad relativa de diferentes longitudes de onda debe ser conocida, con el objeto de cuantificar las respuestas biológicas y químicas a los cambios en la columna de ozono estratosférico. La irradiancia ultravioleta efectiva, E , o tasa de dosis (exposición), se encuentra dada por:

$$E = \int F(\lambda)B(\lambda)d\lambda$$

Donde B (es la función de ponderación, conocida también como espectro de acción para un efecto biológico o químico específico, y F (es la irradiancia espectral incidente sobre la superficie horizontal a nivel del mar (Madronich et al, 1994).

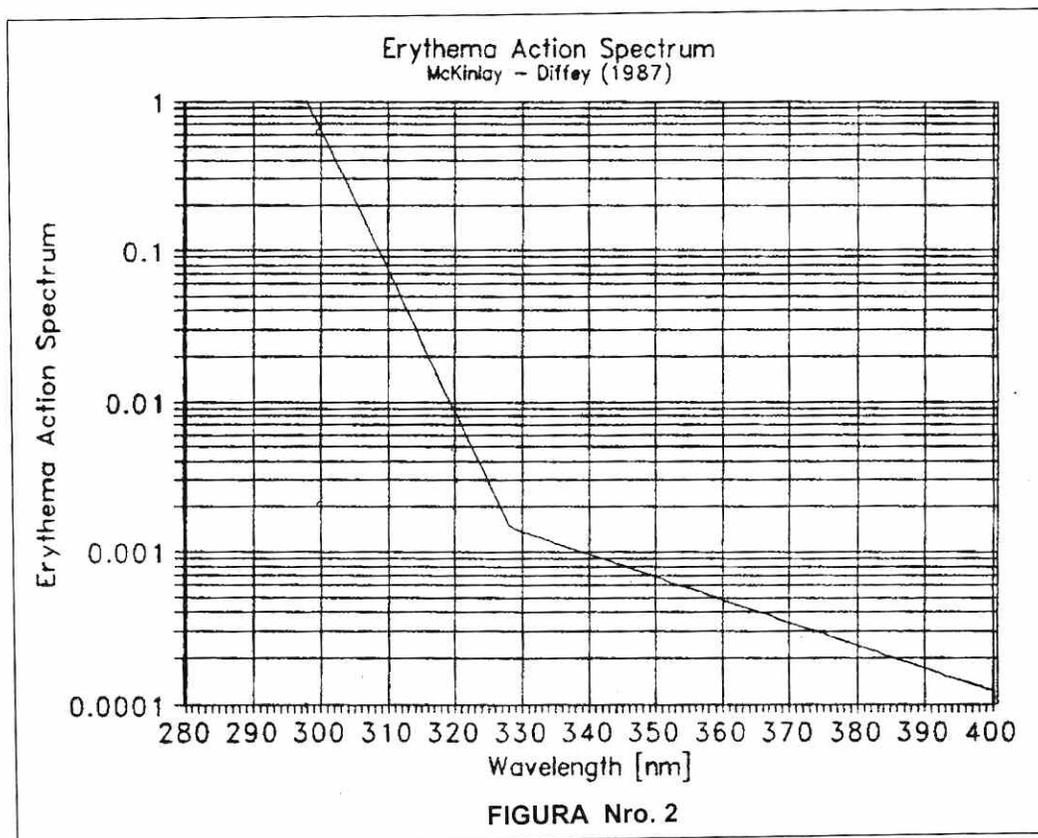
Por otro lado, la dosis UV biológica o químicamente ponderada se define como:

$$D = \int \int F(\lambda, t)B(\lambda)d\lambda dt$$

El Radiómetro 501 UV-Biometer es calibrado por el fabricante de modo tal que replique la respuesta eritémica de las personas de piel blanca. Para tal efecto, se ha recomendado internacionalmente que se utilice el **Espectro de Acción CIE**, también denominado **Espectro de Acción de Eritema** (McKinlay y Diffley, 1987).

En consecuencia, la integral de la multiplicación cruzada del flujo irradiante en $\text{W/m}^2 \text{ nm}$ y el Espectro de Acción de Eritema corresponde a la potencia efectiva o irradiancia UVB biológicamente ponderada. En la figura 2 se presenta el **Espectro de Acción de Eritema** antes mencionado.

El registrador de datos del UV-Biometer tiene capacidad para almacenar lecturas hasta por 3.5 meses si estas lecturas se dan a intervalos de 30 minutos. También posee la capacidad para



conectarse a un computador personal mediante el puerto paralelo o el puerto serial (RS 232C), lo que permite transferir la data acumulada en el registrador de datos hacia un computador para ser procesada.

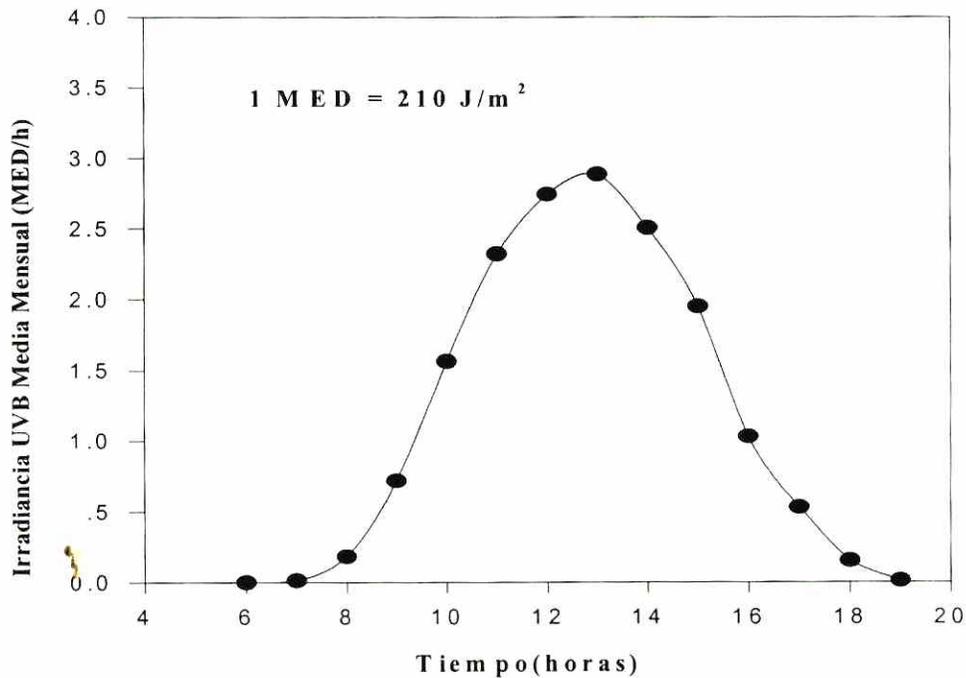
En la tabla No.1 que aparece a continuación, se presentan las especificaciones del detector del medidor de radiación ultravioleta B, o sea el UV Biometer, modelo 501.

TABLA No. 1

Precisión	dentro de +/- 5% del total diario
Salidas	Pulsos de +/- 5v, frecuencia dependiendo de la temperatura o de la UV -B
Consumo de potencia	10 mA/5V
Ambiente de operación	Exterior, encapsulamiento hermético
Temperatura ambiente de operación	-40 a + 50 °C
Rango de temperatura de la medición	-50 a + 100 °C
Variación térmica	< 25×10^{-3} (MED/Hr)/°C
Temperatura de estabilización del fósforo	25 °C
Estabilidad en temperatura	+/- 0.2 °C
Temperatura de asentamiento	< 5 minutos @ un cambio de 20 °C
Requerimientos de potencia	Aproximadamente 10 W / detector

Irradiancia UVB Media Mensual vs Tiempo

Julio/1997



GRÁFICA Nro. 1

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

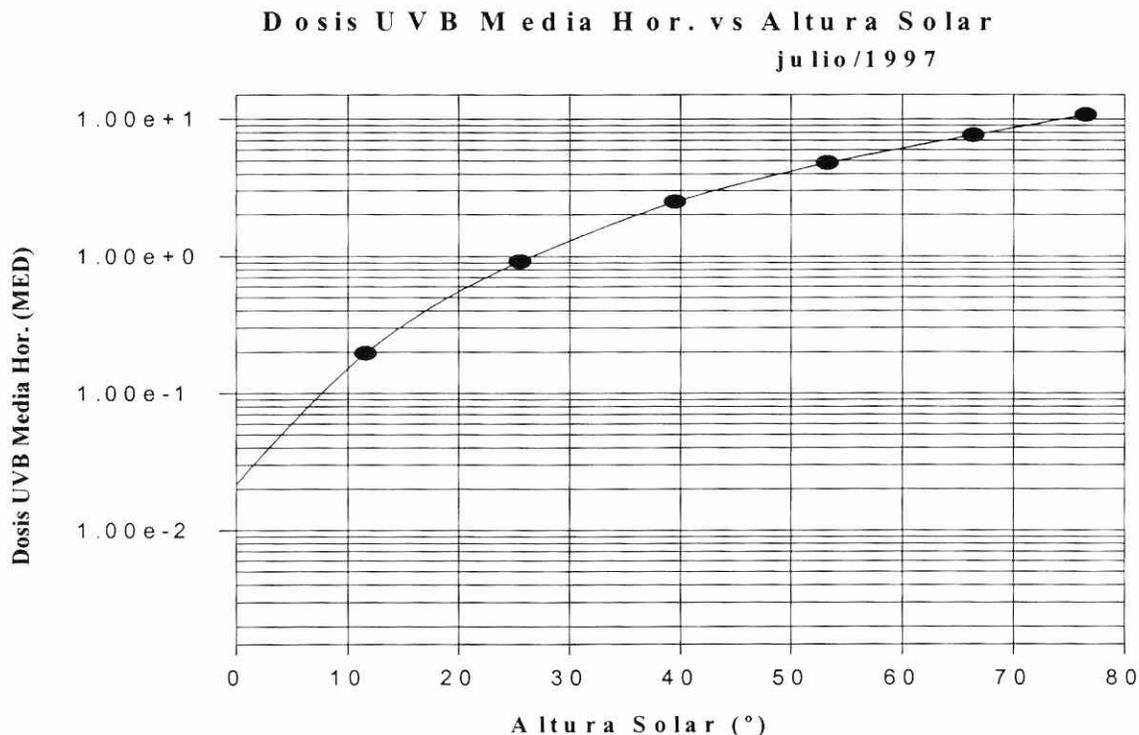
La gráfica No.1 y la tabla No. 2 muestran los valores horarios medios mensuales de la irradiancia UVB correspondientes al mes de julio. La curva de irradiancia UVB horaria media mensual es bastante simétrica registrándose el valor máximo de irradiancia horaria media a las 13:00 horas (hora local). Dicho valor asciende a 3,0 MED/h aproximadamente.

El rápido crecimiento que se observa en la curva hasta horas del medio día, es una consecuencia de que el factor más importante que afecta la dosis de radiación UVB, en días claros, lo constituye la altura solar (Josefsson, 1986).

En la gráfica No. 2 pueden observarse los valores horarios medios de dosis UVB para el mes de julio en función de la altura solar.

TABLA No. 2

Julio de 1997	
Hora	Irrad. UVB(MED)
6.0000	0.0000
7.0000	0.0131
8.0000	0.1817
9.0000	0.7204
10.0000	1.5633
11.0000	2.3202
12.0000	2.7425
13.0000	2.8852
14.0000	2.5045
15.0000	1.9501
16.0000	1.0313
17.0000	0.5307
18.0000	0.1532
19.0000	0.0127



GRÁFICA Nro. 2

Otro parámetro que tiene una incidencia significativa tanto en la irradiancia como en la dosis de radiación UVB es la nubosidad. Para medir este parámetro se divide la esfera celeste en ocho sectores. Cada uno de éstos recibe el nombre de **okta**. A lo largo del día deben efectuarse entre cinco a seis observaciones de la esfera celeste que permitan establecer cuántos sectores u oktas se encuentran cubiertos por algún tipo de nubosidad. En la Tabla No. 3 se observa la clasificación de nubosidad de acuerdo con la cobertura en oktas.

La gráfica No.3 muestra la superposición de curvas de irradiancia UVB horaria media correspondientes a un típico día claro (nubosidad de 2 oktas) y de la curva de irradiancia UVB horaria media mensual para el mes de julio. Ambas curvas son simétricas y

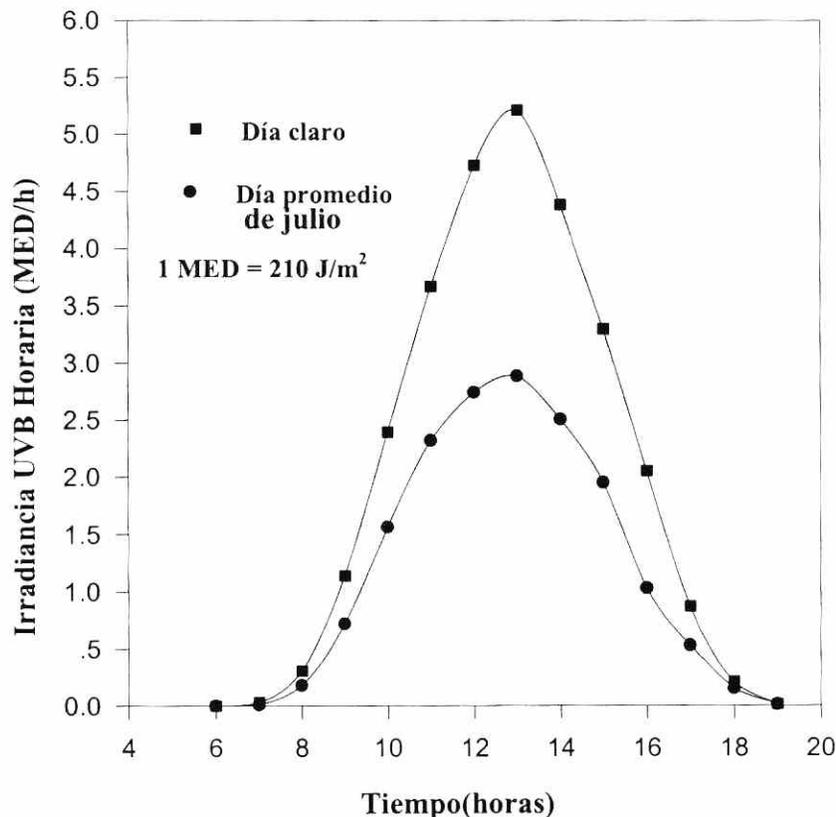
se observa que el máximo valor de irradiancia media horaria para día claro asciende a 5,3 MED/h, aproximadamente. La atenuación de los valores de irradiancia horaria media para el mes de julio en comparación con dichos valores para día claro es causada por la nubosidad registrada para el mes de julio, la cual ascendió, en promedio, a 5 oktas.

TABLA No. 3

Cobertura (oktas)	Nubosidad
De 0 a 2	Día claro
Más de 2 hasta un máximo de 4	Día parcialmente nublado
Más de 4 hasta un máximo de 6	Día nublado
Entre 7 y 8 oktas	Día totalmente nublado

Irradiancia UVB Horaria vs Tiempo

julio/1997



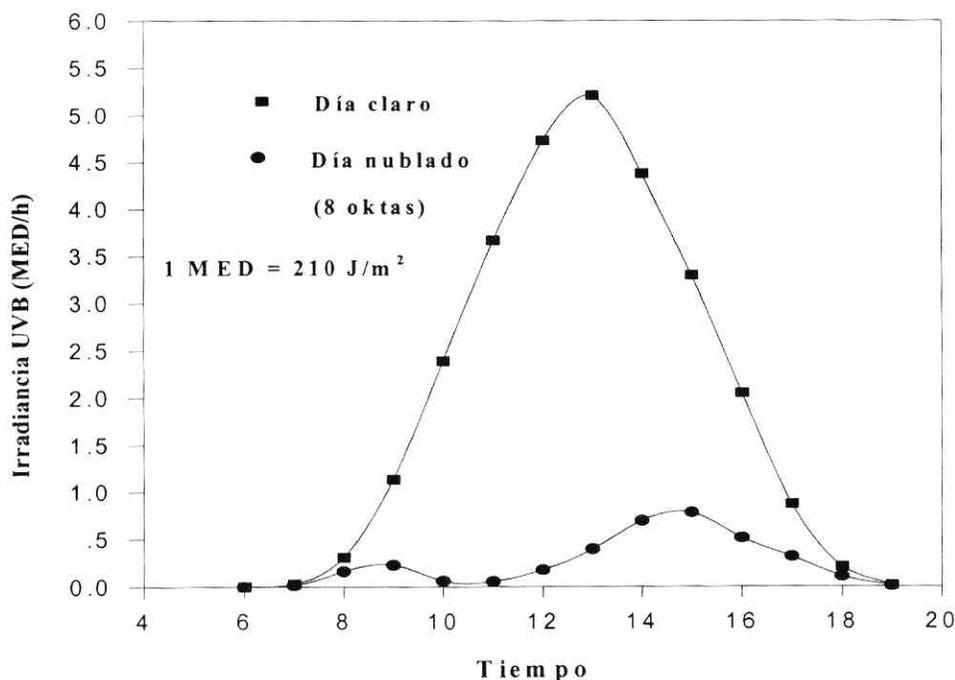
GRÁFICA Nro. 3

En la gráfica No.4 se observa la superposición de la curva de irradiancia horaria media correspondiente a día claro mencionado en el párrafo anterior y de la curva de irradiancia horaria media correspondiente al día 9 de julio, durante el cual, la nubosidad se caracterizó por la de cielo totalmente nublado (8 oktas) a lo largo de todo el día. Los valores sumamente bajos de irradiancia horaria media que se observan en la curva asociada al día nublado son indicativos de una alta nubosidad. El valor máximo de irradiancia horaria media para el día en cuestión se registró a las 15:00 horas (hora local) y ascendió a 0,6 MED/h, aproximadamente. Esta irradiancia es el 20% de la media horaria máxima para el mes de julio y tan solo, el 15% de la media horaria máxima para día claro. La atenuación significativa que se observa en la curva de irradiancia UVB horaria media para el 9 de julio, la cual se encuentra comprendida entre las 9:00 y las 12:00 horas (hora local) podría ser atribuida a la precipitación pluvial que se

produjo durante las horas de la mañana del día en cuestión.

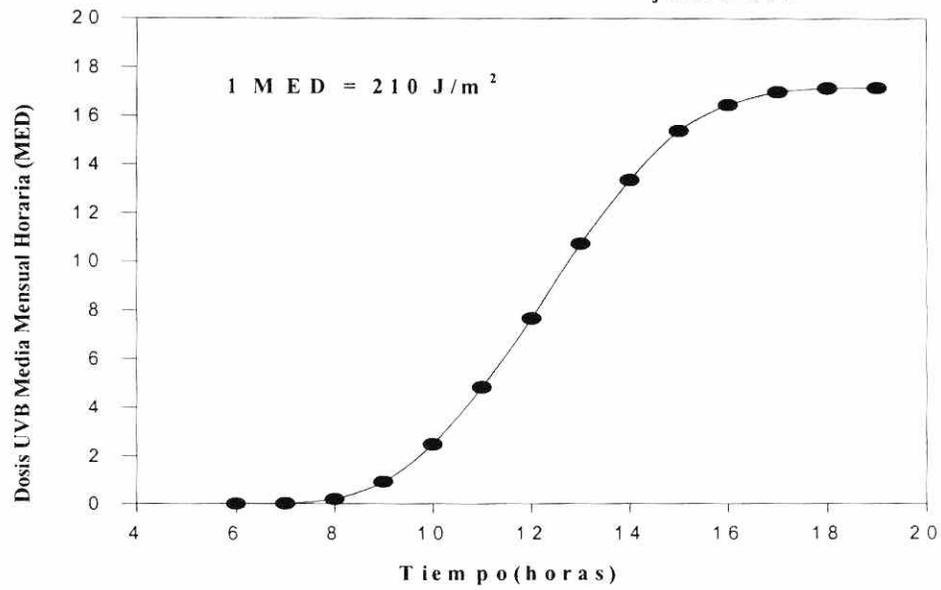
El área bajo la curva de irradiancia UVB horaria media equivale a la dosis UVB ponderada mediante el Espectro de Acción de Eritema y se encuentra expresada en MED. Las gráficas No. 5 y No.6 presentan las curvas de Dosis Horarias Medias Mensuales vs Tiempo correspondientes al mes de julio y al día claro antes aludido, respectivamente. Tal como puede apreciarse, para el mes de julio, la Dosis horaria media ascendió, aproximadamente, a 16,2 MED, para todo el día, mientras que para el día típicamente claro ascendió a 28,3 MED, aproximadamente. Ambas curvas indican que las variaciones más altas de dosis se registran entre las 10:00y las 14:00 horas. El análisis de tales curvas indican que el aumento de dosis entre dichas horas asciende, para el mes de julio a 10,6 MED y para el día claro, a 17 MED.

Irradiancia UVB vs Tiempo



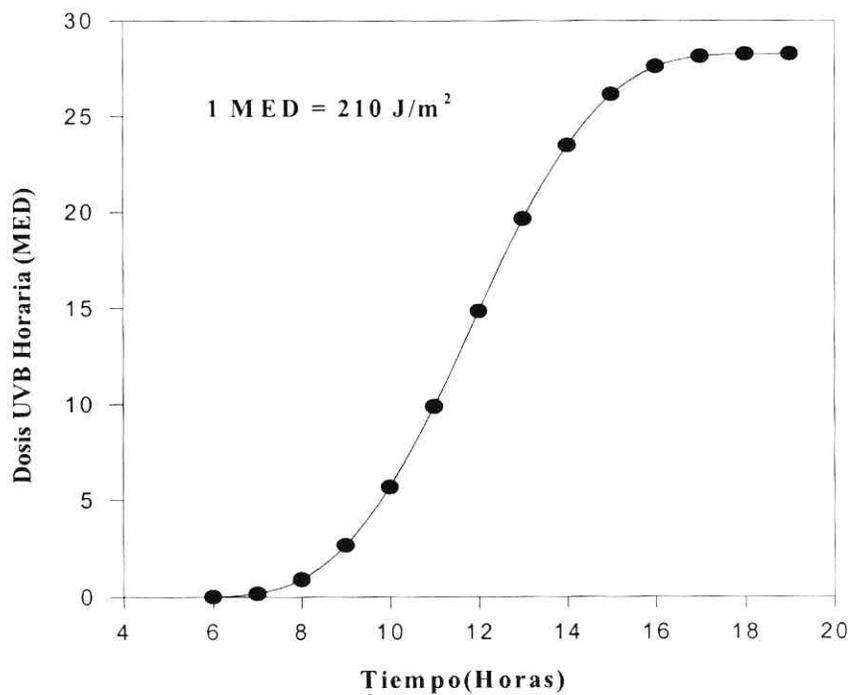
GRÁFICA Nro. 4

Dosis Media Mensual Hor. vs Tiempo
julio/1997



GRÁFICA Nro. 5

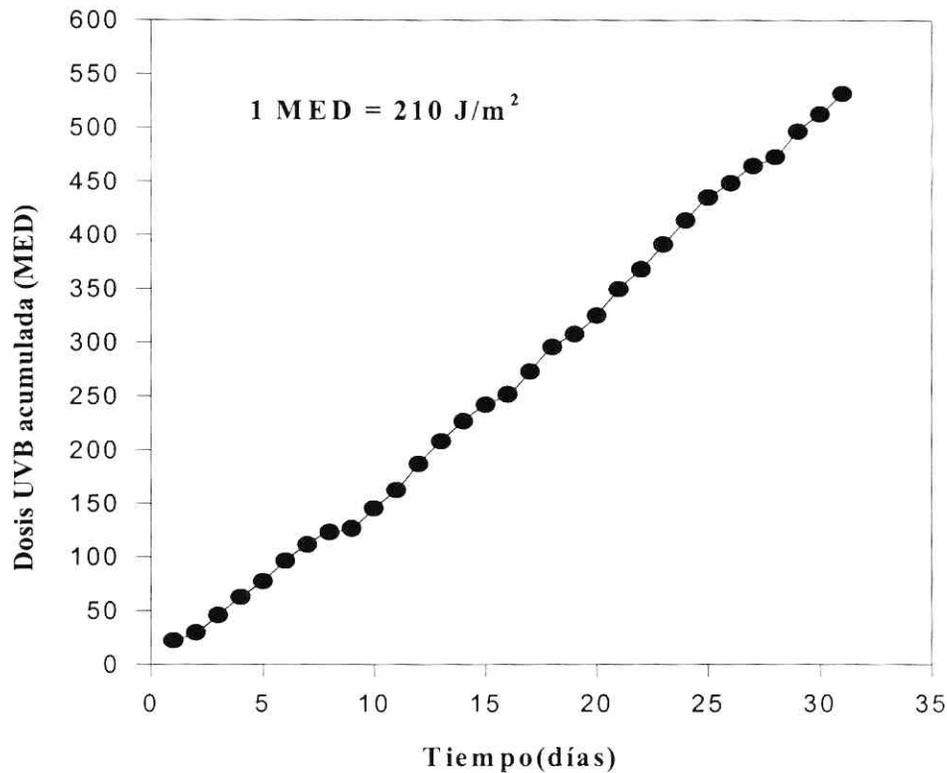
Dosis UVB Horaria vs Tiempo
Día claro



GRÁFICA Nro. 6

Dosis UVB acumulada vs Tiempo

julio/1997



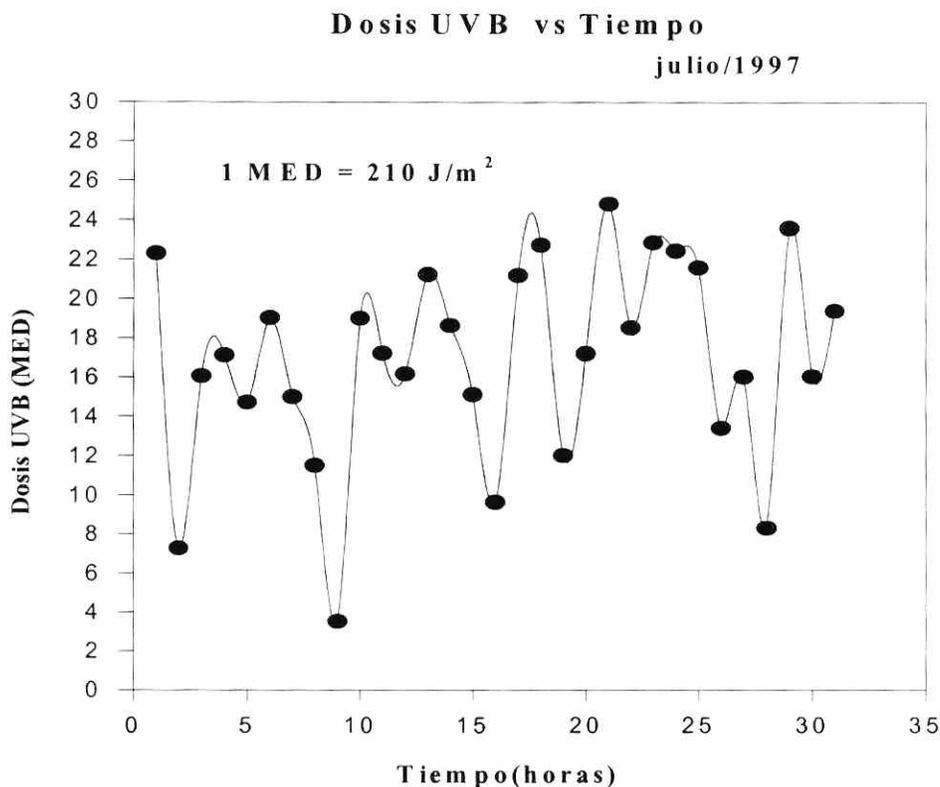
GRÁFICA Nro. 7

Como se recordará la unidad MED se define como la dosis UVB que se requiere para producir un eritema mínimo en personas de piel blanca. En consecuencia, los altos niveles de dosis que se detectan entre las 10:00 y las 14:00 horas señalan que la exposición a la radiación UVB durante este intervalo constituye un alto riesgo en lo concerniente a la inducción de cánceres de piel.

En la gráfica No. 7 se registra el valor de dosis de UVB acumulada para todo el mes de julio. Tal como puede apreciarse, la dosis total de UVB correspondiente al mes de julio ascendió a 550 MED o $1,155 \times 10^5$ J/m² para el área de la ciudad capital.

La gráfica No.8 indica cómo varía la dosis UVB media diaria para todo el mes de julio.

En dicha gráfica se observa que el valor mínimo de dosis se registró el 9 de julio. Este hecho puede atribuirse a la nubosidad extremadamente alta que se registró durante el día en cuestión (8 oktas). Se observan otros mínimos los días 16, 19 y 28 de julio. En cada una de estas fechas se registró una nubosidad acumulada que osciló entre 6 y 8 oktas.



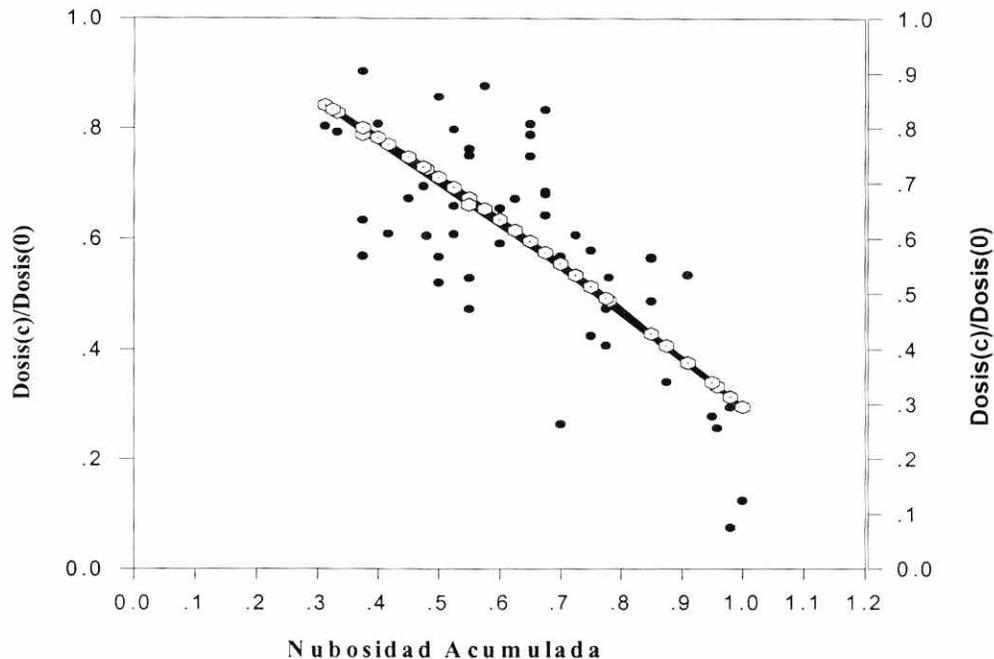
GRÁFICA Nro. 8

Otro aspecto que está siendo estudiado dentro del Proyecto de Investigación es la influencia que ejerce la nubosidad en la atenuación de la radiación UVB. Para tal efecto se han estado llevando a cabo 5 observaciones diarias de la nubosidad a las horas siguientes: 8:00, 10:00, 12:00, 14:00 y 16:00. Con esta información se ha calculado la nubosidad acumulada, que se define como la suma de las nubosidades parciales evaluadas a lo largo del día. Ello ha permitido graficar la dosis UVB relativa diaria vs la nubosidad acumulada. La dosis relativa diaria se define como el cociente entre dosis diaria correspondiente a un día nublado y la dosis diaria correspondiente a un día claro. La gráfica No. 9 muestra tanto los puntos experimentales como la curva ajustada de dosis UVB relativa vs Nubosidad Acumulada. Aun cuando la dispersión es relativamente alta debido a que no se cuenta todavía con suficientes datos, puede apreciarse que

parece existir una correlación negativa entre la Dosis Relativa y la Nubosidad Acumulada, tal como es de esperarse. No obstante, se requiere de un mayor número de observaciones de nubosidad acumulada y de mediciones de dosis relativa para encontrar la ecuación correspondiente a la curva de ajuste.

La obtención de dicha ecuación sería una contribución de gran relevancia a nivel local, en virtud del hecho de que, para el clima característico de la ciudad de Panamá, que, de acuerdo con la clasificación de Köppen (Critchfield, H., 1974) es del tipo **Aw** (clima tropical de sabana), la nubosidad es un parámetro que parece incidir, de manera significativa, en la atenuación de la radiación UVB. Una ecuación de esta índole permitiría efectuar predicciones de dosis de radiación UVB, a condición de que se conociese la nubosidad estimada para días subsiguientes.

Dosis UVB Relativas vs Nubosidad Acumulada



GRÁFICA Nro. 9

CONCLUSIONES

En la curva de irradiancia UVB Horaria Media para el mes de julio (gráfica No.1) se observa un máximo a las 13:00 h, aproximadamente, cuyo valor asciende a 2,88 MED/h mientras que en la curva de irradiancia UVB Horaria Media para un día claro (gráfica No.3), a dicho máximo le corresponde un valor de 5,3 MED/h. Puesto que el mes de julio se caracterizó por ser bastante nublado (nubosidad media de 5 oktas), es de esperarse que durante los meses de estación seca, caracterizados por un alto porcentaje de días claros (nubosidad entre 0 y 2 oktas), se registren irradiancias máximas entre 5 y 6 MED/h.

Por otro lado, las curvas de Dosis UVB Horaria (gráficas No. 5 y No. 6) muestran un crecimiento de la dosis, sumamente rápido, entre las 10:00 a.m. y las 2:00 p.m. Para un día claro, el crecimiento de dosis

correspondiente al intervalo antes mencionado asciende a 17 MED, aproximadamente. Este crecimiento se atenúa de manera significativa para un día con cielo totalmente nublado (nubosidad entre 7 y 8 oktas). Puesto que 1 MED se define como la dosis capaz de generar un eritema mínimo en personas de piel blanca, la exposición a la radiación solar entre las 10:00 a.m. y las 2:00 p.m. durante días claros, representa la absorción de una dosis casi 20 veces más alta que la máxima permisible. Este hecho indica que la exposición a la radiación UVB en el intervalo antes mencionado constituye un factor de alto riesgo en lo concerniente a la inducción de cánceres de piel. Cabe señalar que, siendo la dosis una función del tiempo, los efectos nocivos de la radiación UVB son acumulativos.

La nubosidad incide, de manera significativa, en la atenuación de la radiación UVB, tal como se observa en la gráfica No. 4. Hasta el momento se ha podido observar que

la atenuación de la irradiancia UVB que se registra en días con cielo totalmente nublado (8 oktas) asciende a un 85%, aproximadamente, tomando como referencia el nivel de irradiancia correspondiente a un día con cielo despejado (0 a 2 oktas). Este hecho concuerda con lo que, sobre este particular, han reportado otros investigadores (Bais, F., Zerefos, C., Meleti, C., Ziomas, Y. y Tourpali, K., 1993). En virtud de lo anterior, deberá efectuarse un estudio a largo plazo de la nubosidad acumulada diariamente, a objeto de establecer la posible correlación entre dicho parámetro y la dosis de radiación UVB.

AGRADECIMIENTO

La investigación que se encuentra en proceso de implementación por el Grupo de Física de la Atmósfera está siendo patrocinada por UNIPAN-BID y cuenta con la colaboración del INSTITUTO DE GEOCIENCIAS. Agradecemos a ambas instituciones por el caluroso apoyo que nos han brindado desde el inicio de este Proyecto de Investigación.

BIBLIOGRAFÍA:

1. BAIS, F., ZEREFOS, C., MELETI, C., ZIOMAS, I., y TOURPALI, K., 1993. Spectral Measurements of Solar UVB Radiation and its Relations to Total Ozone, SO₂, and Clouds. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 98, No. D3, 5199-5204.
2. CALDWELL, M. M., CAMP, L. B., WARNER, C. W. y FLINT, 1986. Action Spectra and their key role in assesing biological consequences of solar UVB radiation chance; Stratospheric Ozone Reduction, Solar Ultraviolet Radiation and Plant Life, Springer - Verlag, 87 - 111, Berlin, Germany.
3. CRITCHFIELD, HOWARD J., 1974. *General Climatology*, p. 446. Prentice - Hall International, Inc., London, Third Edition.
4. JOSEFSSON, WEINE, 1986. Solar Ultraviolet Radiation in Sweden; Reports in Meteorology and Climatology, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, No. 53, Norrköping, Sweden.
5. JOSEFSSON, WEINE, 1996. Five Years of Solar UV - Radiation Monitoring in Sweden; Reports in Meteorological and Hydrological Institute, No. 71, Norrköping, Sweden.
6. MADRONICH, S. y DE GRUIJL, F., 1994. Stratospheric Ozone Depletion Between 1979 and 1992: Implications for Biologically Active Ultraviolet - B Radiation and Non - Melanoma Skin Cancer Incidence; *Photochemistry and Photobiology*, Vol. 59, No. 5, 541 - 546, United States.
7. MADRONICH, S., MCKENZIE, M. M., CALDWELL y BJORN, L. O., 1994. Changes in Ultraviolet Radiation Reaching the Earth's Surface, United Nation Environment Programme (UNEP), Chapter 1, Nairobi, Kenya.
8. MCKINLAY, A. y DIFFEY, B. L., 1987. A Reference Action Spectrum for Ultra-violet induced erythema in human skin. In *Human Exposure to Ultraviolet Radiation: Risks and Regulations* (Editado por W. F. Passchier y B. F. M. Bosnjakovic), p. 83 - 87, Elsevier, Amsterdam.