

# VARIABILIDAD DEL INDICE UV EN LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA (ZMG) Y SU RELACION CON LOS INDICES DE CONTAMINACION DURANTE EL 2003.

Ramírez-Sánchez H.U., Meulenert-Peña A.R., García-Concepción O.F., De la Torre Villaseñor O.,  
García-Guadalupe M.E.

*Instituto de Astronomía y Meteorología, Dpto. de Física – Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías Universidad de Guadalajara. Av. Vallarta 2602. Col. Arcos Vallarta, Guadalajara Jal. Méx. Tels: 3616-4937, Fax 3615-9829. [ramirez@astro.iam.udg.mx](mailto:ramirez@astro.iam.udg.mx), [ameulene@astro.iam.udg.mx](mailto:ameulene@astro.iam.udg.mx)*

## RESUMEN

Las zonas tropicales (como lo es el caso de la ZMG) son receptoras de altas intensidades de radiación solar alcanzando su máximo en el cenit (Fig. 1). En estas zonas el índice UV siempre presenta valores por arriba de 4. El objetivo de este trabajo fue mostrar el comportamiento del Índice UV y su relación con los índices de contaminación en la ZMG (CO, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>) durante el 2003. Los datos de índice UV fueron adquiridos mediante una estación meteorológica automática Davis Vantage Pro Plus cada 10 min. Los índices de contaminación fueron adquiridos a través de una red que monitorea los contaminantes cada 10 min., en 8 estaciones situadas estratégicamente en la ZMG.

Los resultados muestran que durante el 2003 se presentó un índice UV desde 0.30 hasta +15. Los valores extremos altos y muy altos se encuentran entre las 10:30 y 16:30 horas variando de acuerdo al mes. El porcentaje mínimo de índices UV altos y muy altos se presentó en enero, noviembre y diciembre, mientras que los porcentajes más altos se registraron en el resto del año, destacándose abril con el porcentaje mas alto (20.3%).

Los resultados muestran que los valores más importantes se registran durante el periodo previo a la estación de lluvias, donde se presenta una gran insolación.

Los índices de contaminación tuvieron una gran variabilidad durante el 2003, presentándose zonas con una gran concentración de contaminantes primarios lo que favorecía la disminución de los índices UV, en contraparte las zonas donde la contaminación no presentaba grandes concentraciones, mostró una mayor exposición a la radiación solar lo que provocó un incremento del índice de UV en esas zonas. En el caso de los contaminantes secundarios como el ozono se presentó mayores concentraciones cuando la radiación solar era más intensa.

## ABSTRACT

The tropical zones (as in the case of the ZMG) receive high solar intensities of radiation reaching their maximum in the zenith (Fig. 1). In these zones the UV index always presents values above 4. The objective of this work was to show behavior of the UV Index and its relation with the indices of contamination in the ZMG (CO, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, and O<sub>3</sub>) during 2003. The UV index data were collected by means of an automatic weather station Vantage Davis Pro Plus every 10 min. The contamination indices were acquired through the network of monitoring of polluting agents, which monitors the polluting agents every 10 min in 8 stations located strategically in the ZMG.

The results show that during 2003 the UV index varied from 0.30 to +15. The high and very high extreme values occur between 10:30 and 16:30 hours varying

according to the month. The minimum percentage of high and very high the UV indices appeared during January, November and December, whereas the highest percentages were registered in the rest of the year, being emphasized April with the percentage but high (20.3%).

It is possible to appreciate the reason why in the most important UV index analysis, the values are registered during the period before the rainy season, when the insolation is high.

The contamination Index had a great variability during 2003. There are zones with a great concentration of primary a polluting agents which favored the diminution of the UV index, while in the zones where the contamination did not present great concentrations, a greater exposure to solar radiation was what caused an increase of the UV index in those zones. In the case of the secondary polluting agents such as ozone, greater concentrations appeared when the solar radiation was more intense.

## ANTECEDENTES

El primer intento en medir la radiación Ultravioleta se desarrollo en 1982 en Australia y lo difundían, en las noticieros de la noche en las principales ciudades, como dosis eritematógena mínima (MED). Posteriormente (1987) los neozelandeses emiten los tiempos de exposición cada hora en la radio. Pero es hasta 1992 que el Atmospheric Environmental Service (AES) de Canadá comienza a emplear el índice UV en una escala de 1 a 10. Este esfuerzo y la educación pública mostraron su eficacia para aumentar la atención sobre la exposición solar y modificar los hábitos de exposición. Asimismo ese mismo año la Environmental Protection Agency (EPA) colabora con el National Weather Service de Estados Unidos (NWS), para desarrollar un índice UV similar al canadiense. La EPA y el Center for Disease Control and Prevention (CDC) se proponen realizar una campaña informativa sobre los riesgos de la radiación UV. Es a partir de 1994 que el índice UV se emite diariamente, desde el National Weather Service, en 58 ciudades de EE.UU. Esta predicción diaria del Servicio Nacional de Meteorología es un cálculo que integra cinco tipos de datos para obtener la cantidad de radiación que actúa sobre la superficie ( $1m^2$ ) durante el mediodía solar 11:30 a.m. a 12:30 p.m. (hora local oficial). Posteriormente, esta simple predicción numérica es clasificada por la Agencia de Protección Medio Ambiental (EPA) en cinco "niveles de exposición" con las medidas de protección recomendadas para cada nivel y esta información es difundida por los medios informativos [1].

La Organización Meteorológica Mundial ha establecido la Unidad de Índice UV en  $25 mW/m^2$  ó  $90 J/m^2/hr$ . Esta predicción se deriva de la combinación de cinco elementos: 1) latitud, 2) día del año, 3) cantidad total de ozono sobre la zona, 4) elevación sobre el nivel del mar, y 5) cantidad de masa nubosa. La Agencia de Protección Medioambiental (EPA) clasifica el Índice UV numérico en cinco niveles de exposición que abarcan desde Mínimo a Muy Alto (Tabla 1).

Solo algunos países latinoamericanos como Chile y Argentina (en 40 ciudades) han adoptado el monitoreo y difusión permanente del índice UV, mientras que en México el Índice UV se monitorea en muy pocas ciudades (Ciudad de México y Guadalajara), siendo que nuestro país se localiza en una latitud que recibe una importante cantidad de radiación solar (Zonas Intertropicales).

Asimismo, existe poca cultura de la población acerca de los efectos de la exposición a la radiación solar y de lo que representa el índice UV.

Índice UV	Nivel de exposición
1-2	Mínimo
3-4	Bajo
5-6	Moderado
7-9	Alto
10 ó más	Muy alto

En nuestro mundo, saturado de datos, un índice más podría parecer inútil, pero su repetición diaria puede aumentar la atención prestada a la irradiación UV y modificar comportamientos. Por ejemplo en Nueva Zelanda (en 1987) y Canadá (en 1992) se han llevado cabo campañas de concientización pública, incluyendo predicciones diarias de la intensidad de la radiación UV. La experiencia canadiense es un ejemplo, Canadá comenzó en mayo de 1992 a difundir su versión del índice ultravioleta. Ésta es similar a la estadounidense en su método de cálculo, forma de difusión, y frecuencia con la que la gente refiere oír o hablar de ella. Una encuesta de 1993, realizada a 1200 canadienses mostró que el 73% conocían el índice, y, como consecuencia del mismo, el 59% habían modificado sus hábitos de exposición solar.[2]. En 1996, una encuesta a 4023 canadienses evidenció que el 90% habían visto u oído información sobre el índice UV en los meses de verano, y que el 50% decían haber tomado "precauciones especiales" cuando el Índice UV era alto (7-8.9 en el sistema canadiense). En 1994, la Agencia de Protección Medioambiental de los EE.UU. (EPA) y el Servicio Nacional de Meteorología (NWS) desarrollaron y validaron el Índice Ultravioleta, con una predicción diaria de la cantidad de radiación ultravioleta peligrosa que incide sobre sus núcleos de población más grandes [3]. Los estudios más precoces en EE.UU. mostraron que casi dos tercios de los encuestados conocían el Índice UV, y el 40% afirmaba que es eficaz para modificar sus hábitos de protección solar [4,5].

Al utilizar el Índice Ultravioleta como herramienta educativa, así como, un indicador diario, los médicos tienen la oportunidad de hacer hincapié en el modelo de radiación intensa a mediodía y reforzar las recomendaciones de protección. Con el propósito de una intervención/prevención y educación, esta oportunidad es especialmente importante cuando se trata de padres, profesores, personal escolar y cuidadores de niños, ya que se estima que la utilización de protectores solares durante la infancia reduce en un 80% el cáncer de piel [6].

Por lo anteriormente expuesto consideramos que es importante el monitoreo y difusión del índice UV y de los efectos que puede provocar la sobreexposición a la radiación solar. Es por eso que el Instituto de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Guadalajara se ha interesado en ser pionero en el desarrollo de programas de monitoreo y divulgación de tal índice para prevenir a la ciudadanía a posibles daños como eritemas, prurito, ulceraciones de piel, problemas de visión y cáncer de piel. Además, considerar que deberían existir otros programas a nivel local, estatal y nacional para la creación de una red de monitoreo de índice UV dirigidos a modificar los hábitos de protección solar [7,8].

Una vez que el Índice UV se haya explicado y comprendido a profundidad, se habrá convertido en esa útil herramienta que sus creadores habían previsto. Puede que algún día, se consulte el Índice UV tan diligentemente como nos informamos de la predicción meteorológica.

En relación a los contaminantes atmosféricos es importante comprender de manera básica la química de la contaminación del aire: que es un mecanismo que representa un subconjunto de procesos químicos atmosféricos que tienen un impacto directo sobre los humanos, la vegetación, y los cuerpos de agua superficial. La clasificación de los procesos químicos atmosféricos tanto de origen humano (antropogénico) y natural son útiles pero no precisos. Por ejemplo, las trazas de gases como el óxido nítrico (NO) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) tiene ambos fuentes antropogénicas y naturales en donde su comportamiento atmosférico es independiente de su origen. Las transformaciones químicas que ocurren en la atmósfera se caracterizan mejor como procesos de oxidación. Las reacciones que involucran compuestos de carbono (C), nitrógeno (N), y azufre (S) son los de mayor interés. Los procesos químicos en la troposfera implican la oxidación de hidrocarburos (HC), NO, y SO<sub>2</sub> a productos oxigenados como los aldehídos, el bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), y ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Estas especies oxigenadas generan productos secundarios formados en la atmósfera a partir de las emisiones primarias de fuentes antropogénicas o naturales [9].

La radiación solar influye en los procesos químicos de la atmósfera mediante su interacción con moléculas que actúan como fotorreceptores. Los radicales libres son formados mediante la fotodisociación de algunos tipos de moléculas. Los radicales libres son los fragmentos neutrales de las moléculas estables y son muy reactivos. Por ejemplo el oxígeno atómico (O); hidrógeno atómico (H); el radical hidroxilo (OH) y el radical hidroperoxilo (HO<sub>2</sub>). En áreas con smog fotoquímico, los fotorreceptores principales son los aldehídos, NO<sub>2</sub>, ácido nitroso (HNO<sub>2</sub>), y ozono (O<sub>3</sub>). El proceso de fotodisociación depende de la energía; es decir, sólo fotones con la energía suficiente son capaces de provocar la fotodisociación [9].

En la ciudad de Guadalajara se estableció un red de monitoreo de la calidad del aire que funciona desde 1995, y que nos proporciona información acerca de los índices de calidad del aire mediante la evaluación de cinco principales contaminantes (CO, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>) en 8 estaciones situadas estratégicamente en la ZMG.

Finalmente podemos establecer que el objetivo de este trabajo fue mostrar el comportamiento del Índice UV y su relación con los índices de contaminación en la ZMG durante el 2003.

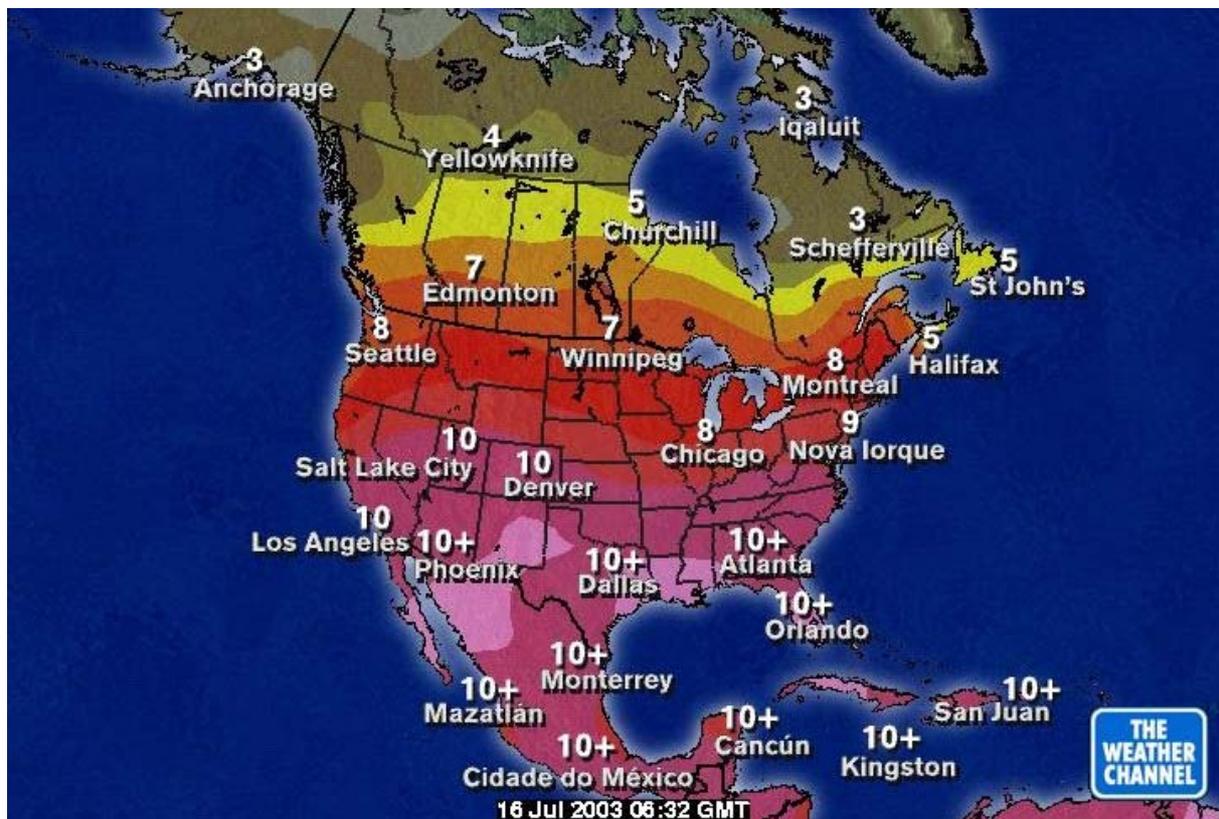


Fig.1 Índices UV para la zona de Norteamérica; donde se observa que en las zonas tórridas de México los índices UV van de >5 a 10+. Cortesía de The Weather Channel [2]

## AREA DE ESTUDIO

La Zona Metropolitana de Guadalajara (Fig. 2) esta situada en el centro-occidente de México y representa junto con la Zona Metropolitana de Monterrey la segunda urbe más importante de México. Es la capital del estado de Jalisco y se localiza entre  $20^{\circ} 30''$  y  $20^{\circ} 50''$  de latitud N y  $103^{\circ} 15''$  y  $103^{\circ} 30''$  de longitud O, a una altura promedio de 1540 m snmm; y representa una superficie aproximada de 2239 km<sup>2</sup>, con una población de aproximadamente de 4,000,000 habitantes. La estación de monitoreo se situó en la zona centro de la ciudad, con coordenadas  $20^{\circ} 40' 32''$  de latitud Norte y  $103^{\circ} 23' 09''$  de longitud Oeste a una altura de 1583 m snmm. [10].

## METODOLOGIA.

Los datos fueron adquiridos mediante una estación meteorológica automática Davis Vantage Pro Plus cada 10 min., durante el periodo del 1 de enero del 2003 hasta el 31 de Diciembre del 2003, posteriormente los datos fueron estadísticamente procesados para obtener los parámetros estadísticos: Media, Mediana, Moda, Máximo, Mínimo y Desviación Estándar de manera diaria y mensual. Además, se realizó una distribución de frecuencias del Índice UV mensual de acuerdo a la clasificación empleada por la EPA: Mínimo 0-2, Bajo 2-4, Moderado 4-6, Alto 6-9, Muy alto 10+, para determinar los porcentajes de los diferentes niveles. Posterior al análisis estadístico se obtuvieron los gráficos mensuales de variación del índice UV.

Los índices de contaminación fueron adquiridos a través de una red que monitorea los contaminantes cada 10 min., en 8 estaciones situadas estratégicamente en la ZMG, durante el periodo del 1 de enero del 2003 hasta el 31 de Diciembre del 2003, posteriormente los datos fueron estadísticamente procesados para obtener los parámetros estadísticos: Media, Mediana, Moda, Máximo, Mínimo y Desviación estándar de manera diaria, mensual y anual. Posterior al análisis estadístico se obtuvieron los gráficos mensuales de variación de cada uno de los contaminantes y se realizo establecer la correlación entre la concentración de contaminantes y el índice UV.



Fig.2. Localización geográfica de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG)

## RESULTADOS

Los resultados de índice UV muestran que durante el 2003 el rango de índice UV va desde 0.30 hasta 15.70 en la escala EPA. Los valores extremos: altos y muy altos se registran entre las 10:30 y 16:30 horas variando de acuerdo al mes, agudizándose conforme se va acercando al final de la estación de estiaje. El porcentaje mínimo de índices UV altos y muy altos se presentó durante el mes de Diciembre con un 0.1%, mientras que el porcentaje más alto se registró en el mes de Abril con un 20.3% (Tabla 2).

Analizando la progresión mes a mes se aprecian las siguientes características: durante el mes de enero se presentaron solo dos días (29 y 31) con índices muy altos (>9) siendo el máximo de 11.40 (Grafica 1); el porcentaje de

valores altos representó el 10.8%, mientras que los muy altos presentaron 0.4% de los valores registrados (Tabla 2).

El mes de febrero presentó la mayoría de días valores por encima de 9. El valor máximo registrado fue de 12.40 (Tabla 2 y grafica 2). Los valores altos y muy altos representaron el 19.4% lo que significa un aumento importante con respecto al mes de enero. Los valores altos mostraron un porcentaje de 12.9% mientras que los muy altos alcanzaron un valor de 6.6% (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis estadístico mensual de índices UV en la ZMG durante el 2003.

Niv. de Exposición	Índice UV	ENERO 2003				FEBRERO 2003			
		f: UV	% UV	f. HI UV	% Hi UV	f: UV	% UV	f. HI UV	% Hi UV
Mínimo	0-2	2657.0	64.7	2360.0	57.5	2298.0	63.9	2236.0	62.1
Bajo	2-4	691.0	16.8	912.0	22.2	365.0	10.1	377.0	10.5
Moderado	4-6	378.0	9.2	375.0	9.1	291.0	8.1	287.0	8.0
Alto	6-9	374.0	9.1	442.0	10.8	488.0	13.6	463.0	12.9
Muy alto	10+	6.0	0.1	17.0	0.4	157.0	4.4	236.0	6.6
TOTAL		4106.0	100.0	4106.0	100.0	3599.0	100.0	3599.0	100.0
Niv. de Exposición	Índice UV	MARZO 2003				ABRIL 2003			
		f: UV	% UV	f. HI UV	% Hi UV	f: UV	% UV	f. HI UV	% Hi UV
Mínimo	0-2	2862.0	66.4	2803.0	65.0	2647.0	64.6	2590.0	63.2
Bajo	2-4	405.0	9.4	413.0	9.6	390.0	9.5	380.0	9.3
Moderado	4-6	327.0	7.6	318.0	7.4	320.0	7.8	299.0	7.3
Alto	6-9	526.0	12.2	511.0	11.9	456.0	11.1	447.0	10.9
Muy alto	10+	190.0	4.4	265.0	6.1	287.0	7.0	384.0	9.4
TOTAL		4310.0	100.0	4310.0	100.0	4100.0	100.0	4100.0	100.0
Niv. de Exposición	Índice UV	MAYO 2003				JUNIO 2003			
		f: UV	% UV	f. HI UV	% Hi UV	f: UV	% UV	f. HI UV	% Hi UV
Mínimo	0-2	2906.0	65.3	2870.0	64.5	2650.0	64.4	2611.0	63.5
Bajo	2-4	403.0	9.1	402.0	9.0	383.0	9.3	372.0	9.0
Moderado	4-6	303.0	6.8	296.0	6.7	360.0	8.7	337.0	8.2
Alto	6-9	524.0	11.8	508.0	11.4	475.0	11.5	430.0	10.4
Muy alto	10+	311.0	7.0	371.0	8.3	247.0	6.0	365.0	8.9
TOTAL		4447.0	100.0	4447.0	100.0	4115.0	100.0	4115.0	100.0
Niv. de Exposición	Índice UV	JULIO 2003				AGOSTO 2003			
		f: UV	% UV	f. HI UV	% Hi UV	f: UV	% UV	f. HI UV	% Hi UV
Mínimo	0-2	2895.0	65.3	2837.0	64.0	3083.0	69.1	3035.0	68.0
Bajo	2-4	460.0	10.4	450.0	10.2	374.0	8.4	333.0	7.5
Moderado	4-6	351.0	7.9	306.0	6.9	328.0	7.3	271.0	6.1
Alto	6-9	411.0	9.3	368.0	8.3	424.0	9.5	355.0	8.0
Muy alto	10+	315.0	7.1	471.0	10.6	255.0	5.7	470.0	10.5
TOTAL		4432.0	100.0	4432.0	100.0	4464.0	100.0	4464.0	100.0
Niv. de Exposición	Índice UV	SEPTIEMBRE 2003				OCTUBRE 2003			
		f: UV	% UV	f. HI UV	% Hi UV	f: UV	% UV	f. HI UV	% Hi UV
Mínimo	0-2	3055.0	70.7	3007.0	69.6	3009.0	72.7	2966.0	71.7
Bajo	2-4	388.0	9.0	368.0	8.5	338.0	8.2	327.0	7.9
Moderado	4-6	336.0	7.8	231.0	5.3	328.0	7.9	308.0	7.4
Alto	6-9	393.0	9.1	344.0	8.0	326.0	7.9	341.0	8.2
Muy alto	10+	148.0	3.4	370.0	8.6	137.0	3.3	196.0	4.7
TOTAL		4320.0	100.0	4320.0	100.0	4138.0	100.0	4138.0	100.0
Niv. de Exposición	Índice UV	NOVIEMBRE 2003				DICIEMBRE 2003			
		f: UV	% UV	f. HI UV	% Hi UV	f: UV	% UV	f. HI UV	% Hi UV
Mínimo	0-2	2950.0	71.0	2926.0	70.4	3355.0	77.8	3313.0	76.8
Bajo	2-4	437.0	10.5	405.0	9.7	610.0	14.1	581.0	13.5
Moderado	4-6	411.0	9.9	408.0	9.8	349.0	8.1	417.0	9.7
Alto	6-9	322.0	7.7	360.0	8.7	1.0	0.0	4.0	0.1
Muy alto	10+	36.0	0.9	57.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL		4156.0	100.0	4156.0	100.0	4315.0	100.0	4315.0	100.0

Durante estos meses los valores bajos y moderados están relacionados con una mayor frecuencia de la cobertura nubosa en forma de densas capas asociadas a corrientes de chorro provenientes del pacífico que cruzan la región centro-occidente del país. Asimismo, la mayor presencia y duración de las inversiones térmicas favorecen la acumulación de contaminantes, que atenúa la radiación solar.



Fig. 2 Cobertura nubosa en forma de densas capas asociadas a corrientes de chorro provenientes del Pacífico durante el mes de a) Enero y b) Febrero. Cortesía de la NOAA [4].

La mayor parte del mes de Marzo presentó valores por encima de 9. El valor máximo registrado fue de 11.50 (Tabla 2 y grafica 3). Los valores altos y muy altos representaron en conjunto un 18%, los valores altos mostraron porcentajes de 11.9% y los muy altos de 6.1%, manteniéndose en valores muy cercanos a los del mes anterior (Tabla 2).

Durante el mes de Abril se registraron los niveles de índice UV más altos con un porcentaje de incidencia de valores altos y muy altos de 10.9 y 9.4% respectivamente que en conjunto representaron el 20.3% de los valores registrados (Tabla 2). El valor máximo alcanzado durante este mes fue de 12.50 (Tabla 2 y grafica 4). Es importante resaltar como los valores altos y muy altos presentan frecuencias muy similares. El importante incremento en el porcentaje de valores muy altos representa un mayor riesgo a la exposición, con respecto a los meses anteriormente analizados.

Mayo fue un mes irregular dado que hubo altas y bajas en los días que presentaron valores superiores a 9. El valor máximo alcanzado aumentó a 12.90 (Tabla 2 y grafica 5), mientras que el porcentaje de valores altos y muy altos registraron 11.4 y 8.3% respectivamente, lo que representó un 19.8% en conjunto (Tabla 2).

El mes de junio presentó el índice UV más alto del periodo de estudio con un valor de 15, el día 18 entre 1:30 y 2:00 p.m. (Tabla 2 y grafica 6). Por su parte los porcentajes de valores altos y muy altos representaron 10.4 y 8.9 %, lo que en conjunto represento el 19.3% (Tabla 2).

Durante julio los índices UV altos y muy altos empiezan su descenso con valores de 8.3 y 10.6 respectivamente lo que en conjunto representan el 18.9%. El valor máximo presentado durante este mes es de 14.40. Durante este mismo

periodo es cuando se empiezan a incrementar los porcentajes de índice UV mínimo (Tabla 2 y grafica 7).

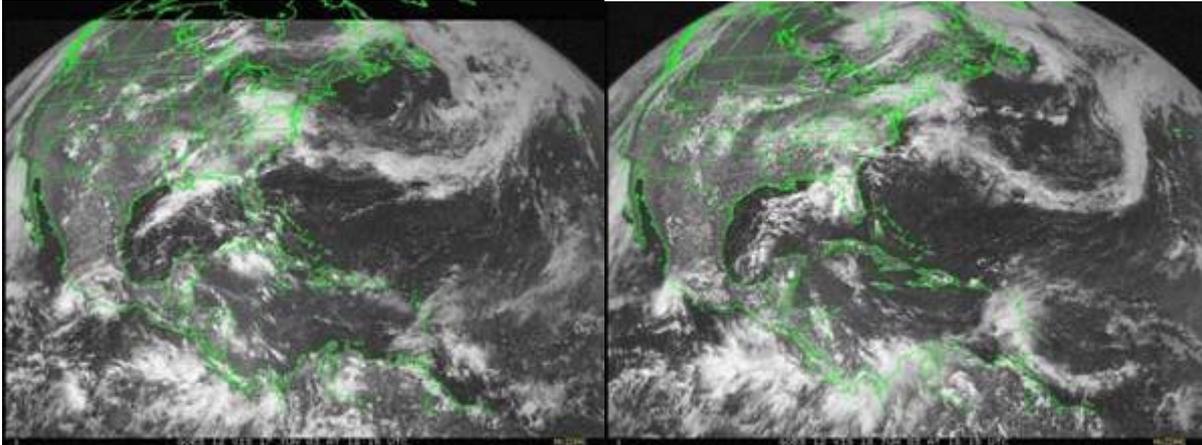


Fig. 2 La nubosidad presente en el estado de Jalisco son cirrus traslúcidos o nubes formadas por cristales de hielo y muy delgadas que dejan pasar prácticamente toda la radiación solar. a) 17 de Junio y b) 18 de Junio. Cortesía de la NOAA [4].

El mes de agosto presenta la misma tendencia que el mes de julio ya que los índices UV altos y muy altos siguen en descenso con valores de 8.0 y 10.5 % lo que en conjunto viene a representar aproximadamente 18.5%. El valor máximo es de la misma magnitud que el de julio con 14.40 y los porcentajes de valores mínimos alcanzan el 68 % (Tabla 2 y grafica 8).

Septiembre presenta un descenso importante en los valores de índices UV muy altos ya que estos disminuyen a valores de 10.5 a 8.6, mientras que los valores altos conservan el mismo valor que el mes anterior. En conjunto dichos valores representan el 16.6 %. El Índice UV máximo alcanza un valor de 14.70 ligeramente más alto que los dos meses anteriores. El porcentaje de valores mínimos continúa incrementándose con valores que alcanza el 69.6% (Tabla 2 y grafica 9).

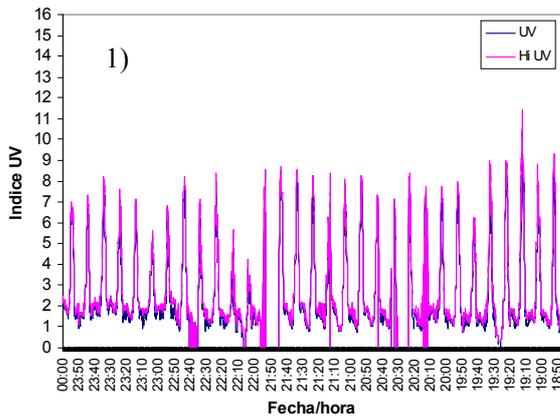
El mes de octubre presenta valores de índice UV altos y muy altos de 8.2 y 4.7 lo cual representa una gran disminución de los valores muy altos, mientras que los altos presentan aproximadamente los mismos rangos que los meses precedentes. En conjunto dichos índices representan el 13%. El valor máximo presentado durante este mes es de 12.40, lo cual marca un descenso importante en comparación con los meses de verano. El porcentaje de valores mínimos continúa la tendencia a incrementarse con un 72 % (Tabla 2 y grafica 10).

Noviembre presentó valores de índice UV altos y muy altos de 8.7 y 1.4 con un evento extraordinario de máximo de 16 los días 6 y 7 entre 14:00 y 17:00 hrs. lo cual represento el máximo durante todo el año. Este valor podría ser explicado por la gran actividad de manchas solares presentada el 30 de octubre y que alcanzo la tierra en su máxima actividad alrededor de los primeros días de noviembre. El valor en conjunto entre los valores altos y muy altos represento el 10%, mientras que los valores mínimos se mantuvieron en un 70.5 % (Tabla 2 y grafica 11).

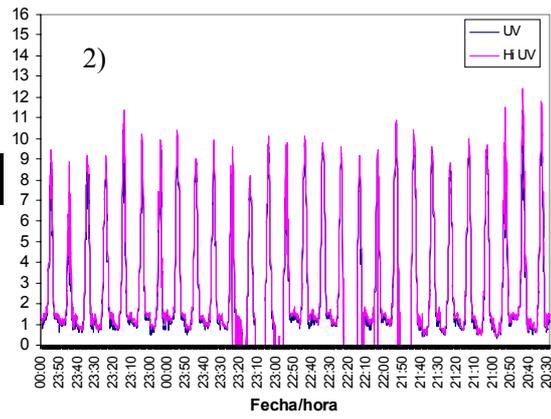
El mes de Diciembre presento valores mínimos anuales de índices altos y muy altos con valores de 0.1 y 0% respectivamente, lo que en conjunto únicamente represento el 0.1%, mientras que los valores mínimos se incrementaron a un 77%. El valor máximo presente durante este periodo fue de 6.3 (Tabla 2 y grafica 12).

Es importante resaltar que durante el segundo semestre del año empiezan a descender los porcentajes de índices altos y muy altos, debido a diferentes factores entre los que destacan la alta nubosidad típica de la época de precipitaciones que disminuye de manera importante la radiación solar atravesando la atmósfera, mientras que en los últimos meses del año la disminución drástica de dichos valores es resultado principalmente a factores de tipo astronómico propios de la estación.

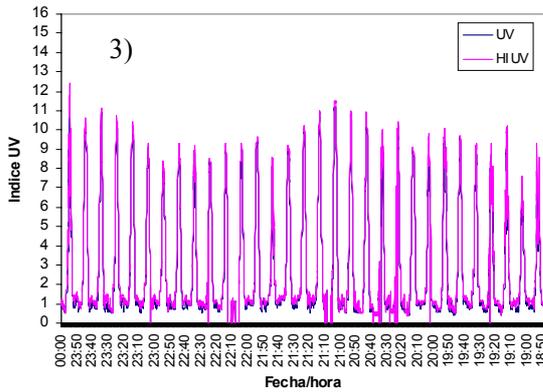
Indice UV Enero 2003



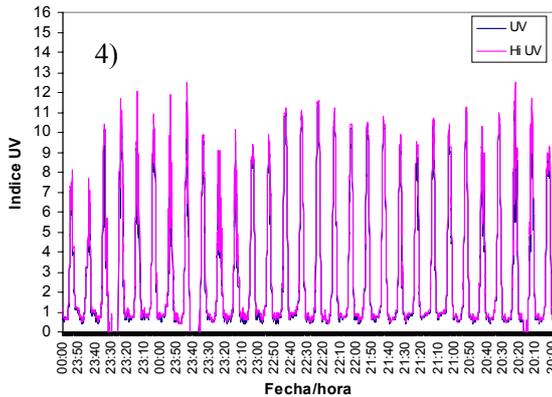
Indice UV Febrero 2003



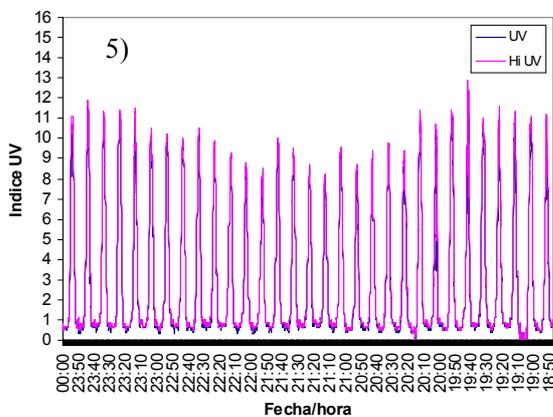
Indice UV Marzo 2003



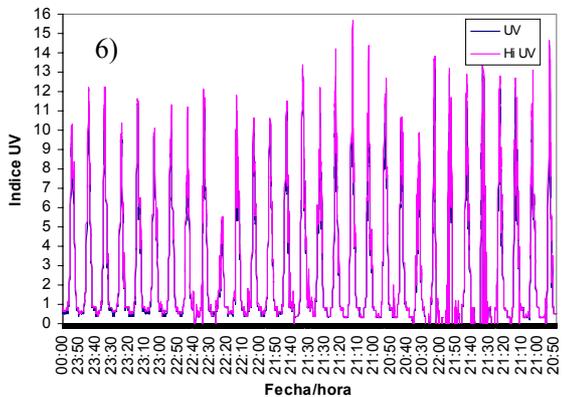
Indice UV Abril 2003



Indice UV Mayo 2003

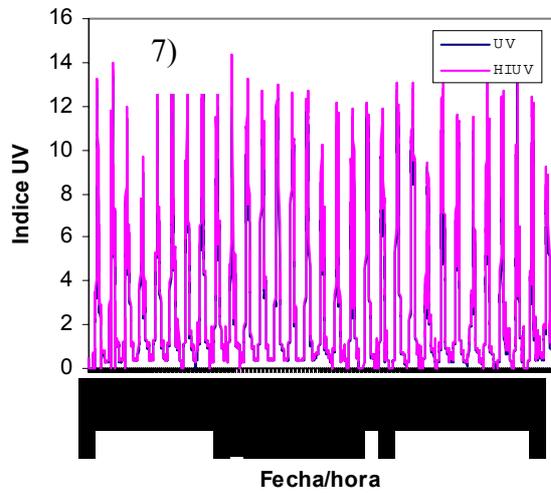


Indice UV Junio 2003

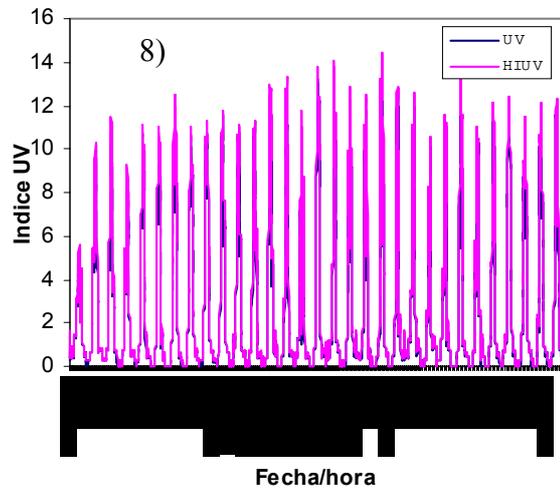


Graficas 1-6. Variación mensual de Índice UV y HiUV mensual durante el periodo de enero-junio del 2003.

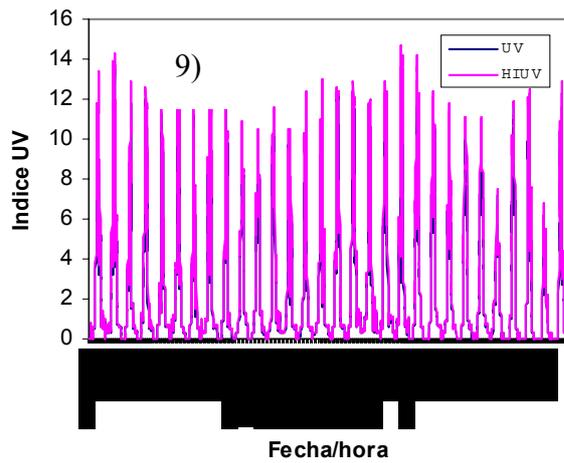
Indice UV JULIO 2003



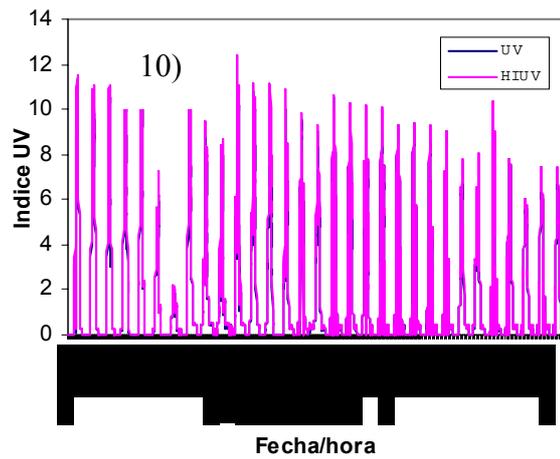
Indice UV AGOSTO 2003



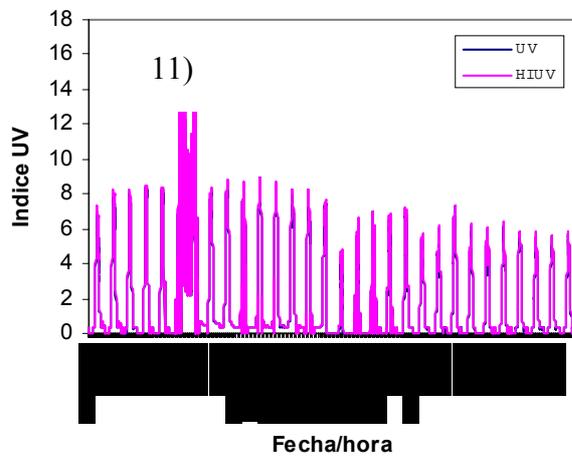
Indice UV Septiembre 2003



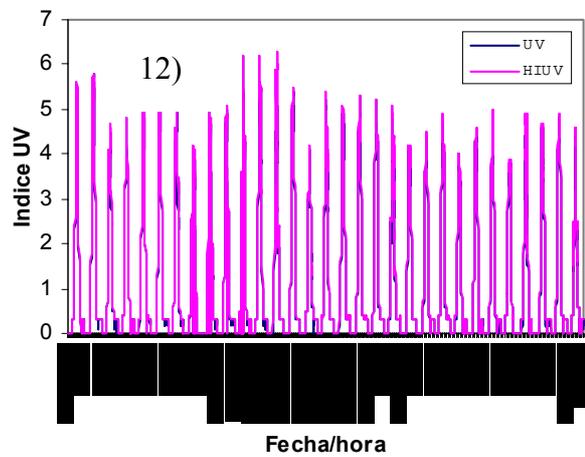
Indice UV Octubre 2003



Indice UV Noviembre 2003



Indice UV Diciembre 2003



Graficas 7-12. Variación mensual de Índice UV y HiUV mensual durante el periodo de julio-diciembre del 2003.

El análisis de los índices de calidad del aire muestran una gran variabilidad de concentraciones durante el 2003 (Tabla 3), sin embargo se pueden sacar algunas correlaciones de estos resultados y de los índices UV. Se puede apreciar que durante los meses (marzo, abril, mayo y junio) de mayor insolación y en consecuencia de los índices UV más altos se presentan índices de NO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> que tienden a disminuir en comparación con los meses precedentes, mientras que los niveles de ozono aumentan considerablemente (grafica 13). Esto es debido principalmente a que los NO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, son los contaminantes primarios precursores que al reaccionar con la radiación UV producen el O<sub>3</sub> y que favorecen que durante estos meses su concentración se incremente y presente los máximos anuales.

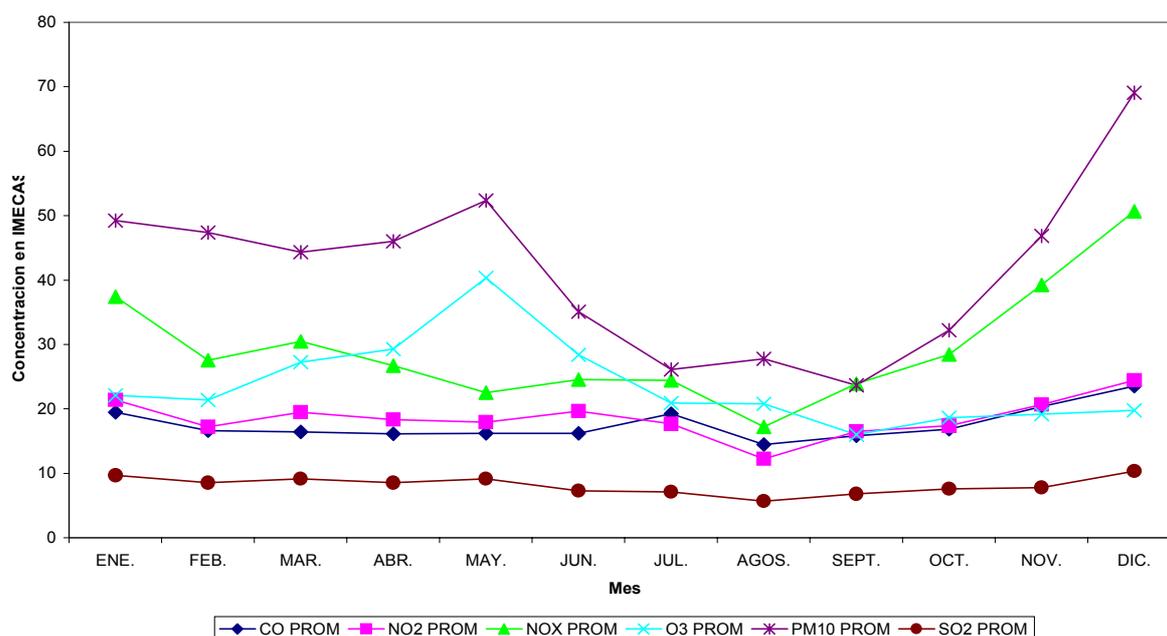
TABLA 3. Análisis estadístico mensual de los índices de calidad del aire de la ZMG durante el 2003

CALIDAD DEL AIRE EN IMECAS 2003												
PARÁMETRO	CO	CO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
ENE.	19	167	21	73	37	171	22	123	49	264	10	98
FEB.	17	88	17	60	28	148	21	123	47	274	9	100
MAR.	16	98	19	93	30	168	27	168	44	237	9	52
ABR.	16	85	18	112	27	171	29	148	46	275	9	69
MAY.	16	61	18	68	23	126	40	205	52	253	9	52
JUN.	16	62	20	170	25	166	28	147	35	275	7	41
JUL.	19	301	18	69	24	161	21	88	26	174	7	71
AGOS.	14	50	12	29	17	106	21	93	28	73	6	29
SEPT.	16	74	16	59	24	127	16	116	24	231	7	31
OCT.	17	68	17	69	28	163	19	196	32	256	8	80
NOV.	20	157	21	83	39	171	19	135	47	275	8	110
DIC.	24	174	24	101	51	171	20	114	69	275	10	67
Media	18	115	19	82	29	154	24	138	42	239	8	67
Máx.	24	301	24	170	51	171	40	205	69	275	10	110
Min.	14	50	12	29	17	106	16	88	24	73	6	29

NOMENCLATURA: CO = Monóxido de carbono, NO<sub>2</sub> = Dióxido de nitrógeno, NO<sub>x</sub> = Óxido de nitrógeno, O<sub>3</sub>= Ozono, PM<sub>10</sub>= Partículas suspendidas inferiores a 10 µm, SO<sub>2</sub>= Sulfatos, PROM = Promedio, MÁX = Máxima.

Escala IMECA : 0-50 Buena, 51-100 Satisfactoria, 101-200 No satisfactoria, 201-300 Mala, 301-500 Muy mala.

Indíces de contaminantes en la Zona Metropolitana de Guadalajara durante el 2003



Graficas 13. Variación mensual de Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA) en la zona metropolitana de Guadalajara (ZMG) durante el 2003.

En los meses de la estación de lluvias (junio, julio, agosto y septiembre) existe descenso de los  $\text{NO}_2$  y  $\text{NO}_x$  solo que este es un efecto conjunto de una parte por la reacción para producir ozono y por otra parte por la gran cantidad de precipitación en esta zona que limpia la atmósfera de todos los contaminantes en general (grafica 13). En conclusión podemos decir que los índices UV están estrechamente relacionados con las concentraciones de los contaminantes  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{O}_3$ . La relación entre UV y  $\text{O}_3$  es directamente proporcional, mientras que entre los UV y los  $\text{NO}_2$  y  $\text{NO}_x$  es inversamente proporcional.

## CONCLUSIONES

Las conclusiones después de evaluar el comportamiento del índice UV durante este periodo de estudio son:

1. Existe una progresión positiva del índice UV de Enero a Junio, presentándose su máximo en Junio: la progresión decreciente va de Junio a Diciembre, presentándose los mínimos valores en Diciembre.
2. Los valores más importantes se registran durante el periodo previo a la estación de lluvias, debido principalmente a un mayor periodo de insolación y la presencia de poca nubosidad en las horas cercanas al mediodía.
3. Durante los primeros meses del año (Enero y febrero) la alta presencia de valores bajos y moderados, esta relacionado con una mayor frecuencia de la cobertura nubosa en forma de densas capas asociadas a corrientes de chorro provenientes del pacifico que cruzan la región centro-occidente del país. Asimismo, la mayor presencia y duración de las inversiones térmicas favorece la acumulación de contaminantes, que atenúa la radiación solar.
4. Durante la época de lluvias los índices UV empiezan a decrecer por efecto de la alta nubosidad que disminuye la penetración de la radiación solar.
5. En las estaciones de otoño e invierno (principalmente en noviembre y diciembre), el descenso de los índices UV es provocado por factores astronómicos.
6. Dado que la radiación solar depende de factores meteorológicos, tales como, la nubosidad, los días con nublados y lluvias, la altitud con respecto al nivel del mar, cantidad total de ozono sobre la zona y las superficies reflectoras como el agua, la arena y nieve, podemos concluir que el caso de la ZMG los factores que no tienen influencia en la variación del índice UV son la latitud, la altitud y las superficies reflectoras (ya que estas no cambian), mientras que el resto de factores tienen una influencia en mayor o menor medida.
7. Es importante profundizar en la influencia del ozono y los contaminantes dispersos en la atmósfera en el comportamiento del índice UV.
8. Asimismo el índice UV se ve influenciado por factores astronómicos como la actividad solar (manchas y explosiones solares), la presión, la inclinación etc., es importante correlacionar estos factores con la variación del índice UV en la zona intertropical del hemisferio Norte. Dichas correlaciones podrán empezar a materializarse una vez que se tenga un periodo de registro de datos más extenso.
9. Finalmente, es de gran importancia poder presentar los primeros registros del índice UV en la ZMG y aún más importante poder difundir esta información de

manera sistemática a la población junto con los posibles efectos que puede ocasionar la exposición prolongada a los rayos solares en horas críticas.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. John P. Kinney, MD, Craig S. Long, Alan C. Geller, RN, MPH. El índice ultravioleta: una herramienta útil. *Dermatology Online Journal* 2000; 6(1):2.
2. Decima Research. An Investigation of Canadian Attitudes Related to Environment Canada's UV Index. 1993.
3. Long CS, Miller AJ, Lee H-T, Wild JD, Przywarty RC, Hufford D. Ultraviolet Index forecasts issued by National Weather Service. *Bulletin American Meteorological Society* 77:729; 1996.
4. Media dissemination of and public response to the Ultraviolet Index-United States 1994-1995. *Arch. Dermatol.* 133:907-8; 1997.
5. Geller AC, Hufford D, Miller DR, Sun T, Wyatt SW, Reilley B, Bewerse B, Lisco J, Brooks D, Grupenhoff J, Weary P, Lew RA, Koh HK. Evaluation of the Ultraviolet Index: media reactions and public response. *J. Am. Acad. Dermatol.* 1997; 37(6):935-41.
6. Stern RS, Weinstein MC, Baker SG. Risk reduction for no melanoma skin cancer with childhood sunscreen use. *Arch. Dermatol.* 1986; 122(5):537-45.
7. Geller AC. Current Status of Sun Protection Programs. *Cosmetic Dermatology* 43-47; May 1999.
8. Miller DR, Geller AC, Wood MC, Lew RA, Koh HK. The Falmouth Safe Skin Project: evaluation of a community program to promote sun protection in youth. *Health Educ. Behav.* 1999; 26(3):369-84.
9. Boudel R. W., Fox D.L., Turner D.B., Stern A.C. Fundamentals of air pollution
10. [http://www.semarnat.gob.mx/estadisticas\\_ambientales/compendio/05ambiente\\_urbano/zmg.shtml](http://www.semarnat.gob.mx/estadisticas_ambientales/compendio/05ambiente_urbano/zmg.shtml).