



Universidad Autónoma de Zacatecas
“Francisco García Salinas”
Unidad Académica de Estudios Nucleares



**“Análisis del comportamiento de la Radiación Eritemal
UV y su relación con la Columna Total de Ozono
reportada por OMI en el Estado de Zacatecas”**

Tesis

Que en cumplimiento parcial de los requisitos para obtener
el grado de

Maestra en Ciencias Nucleares

Como opción terminal en Ingeniería Nuclear

Presenta:

I.E. María de los Ángeles Lizeth Solís Jiménez

ASESOR

Dr. José Luis Pinedo Vega
Dr. Fernando Mireles García
Dr. Carlos Ríos Martínez

Zacatecas, Zac., Octubre 2018

Análisis del comportamiento de la Radiación Eritemal UV y su relación con la Columna Total de Ozono reportada por OMI en el Estado de Zacatecas.

Aprobada por el jurado:

Dr. José Luis Pinedo Vega

Dr. Carlos Ríos Martínez

Dr. Fernando Mireles García

Dr. Ignacio Dávila Rangel

Dr. Eduardo Manzanares Acuña

Dr. Valentín Badillo Almaraz

Dra. Consuelo Letechipía de León

Dedicatoria

A mi madre Engracia por alentarme a superarme cada día, por que siempre creiste en mi y lo sigues haciendo, por tu amor y tu compromiso.

A mi padre Antonio, por apoyarme, aun cuando cometia errores, por llevarme todos los días a la parada de autobuses.

A mis hermanos Antonio y Josafat, por que siempre han estado conmigo, por apoyarme y ser mi inspiración.

A mi amiga Virginia, por que siempre has estado ahí para escucharme, por los desayunos que compartimos y la amistad me das.

A mi amiga y maestra Yoali, por hacer que me enamorara de las ciencias nucleares, por transmitirme tanto conocimiento y apoyarme en mi camino.

“La acción inspirada es eso que sucede cuando sabes que lo que quieres está por verni y te mueves hacia ello, sin dudad que lo lograras”

Agradecimientos

Al Dr. José Luis Pinedo Vega por su ayuda, tiempo y disposición, por brindarme la oportunidad de trabajar con él, en el desarrollo de este trabajo.

A mis profesores de la Unidad Académica de Estudios Nucleares, que me proporcionaron conocimientos de diversas áreas, para poder desempeñarme en la investigación.

Agradezco al CONACyT por el apoyo otorgado a través de la beca, para realizar mis estudios de maestría

RESUMEN

La atmósfera es esencial en la naturaleza de la Tierra, es una capa de gases que, entre otras cosas, permite que la temperatura de la Tierra sea hospitalaria para todas las especies vivientes. La interacción de la radiación solar en la superficie de la Tierra y en la atmósfera ha sido de suma importancia a lo largo de la evolución de la Tierra. La radiación solar es la fuente de energía que induce una diversidad de los fenómenos naturales, de enormes proporciones, y un gran número de estos fenómenos, se produce por fotones de radiación solar de longitudes de onda muy específicos, tales como la fotosíntesis y las reacciones de fotodisociación. La fotodisociación del Oxígeno en grandes altitudes da lugar a la formación del Ozono. El Ozono, a pesar de ser un gas traza que en la atmósfera representa menos del 0.00001%, cumple un importante e insustituible papel pues atenúa la radiación UV-B y UV-A hasta niveles relativamente inofensivos para los seres vivos.

Por este motivo, conocer las tendencias del comportamiento de la radiación eritemal UV y su relación con la Columna Total de Ozono es de suma importancia. Este trabajo comprende la sistematización y análisis del comportamiento de la dosis eritematosa en el Estado de Zacatecas de fines del 2005 a principios del 2006, datos proporcionados por la NASA. La sistematización encontrada es indicativa de los niveles de dosis eritematosa que puede ocurrir en el Estado a lo largo del año.

Palabras clave:

Radiación Eritemal UV, Columna Total de Ozono, OMI.

ABSTRACT

The atmosphere is essential in the nature of the Earth, it is a layer of gases that, among other things, allows the temperature of the Earth to be hospitable to all living species. The interaction of solar radiation on the surface of the Earth and in the atmosphere has been the sum importance throughout the evolution of the Earth. Solar radiation is the source of energy that induces a diversity of natural phenomena, of enormous proportions, and a large number of these phenomena, is produced by photons of solar radiation of very specific wavelengths, such as photosynthesis and reactions of photodissociation. The photodissociation of Oxygen at high altitudes gives rise to Ozone formation. Ozone, despite being a trace of gas that represents less than 0.00001% in the atmosphere, plays an important and irreplaceable role because it attenuates UV-B and UV-A radiation to relatively harmless levels for living beings.

For this reason, to know the tendencies of the behavior of the erythema UV radiation and its relation with the Total Ozone Column is great importance. This work includes the systematization and analysis of the behavior of the erythematos dose in the State of Zacatecas from the end of 2005 to the beginning of 2006, data provided by NASA. The systematization found is indicative of the erythematos dose levels that may occur in the State throughout the year.

Keywords:

Erythemal UV radiation, Total Ozone Column, OMI.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	v
Agradecimientos.....	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
ÍNDICE GENERAL	ix
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tablas	xiii
I INTRODUCCIÓN	1
Pregunta científica.....	5
Hipótesis.....	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos.....	6
II REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
2.1. Radiación Ultravioleta.....	7
2.1.1. Radiación UV-A, UV-B, UV-C	9
2.1.2. Radiación Eritematoso UV (UVER p.s.i.)	12
2.1.3. Irradiancia	14
2.1.5. Hora solar	17
2.1.6. Índice UV	20
2.1.7. Interacción de la radiación UV con la materia	21
2.2. Atmósfera Terrestre.....	22
2.2.2. Formación de la atmósfera	23
2.2.2. Ozono	27
2.2.3. Formación de la capa de Ozono	28
2.2.4. Balance del Ozono en la estratósfera	29
2.2.4.1 Formación y destrucción del Ozono	31
2.3. Satélites e instrumentos de mediciones de la Columna Total de Ozono.....	34

2.3.1. Tipos de Satélites	36
2.3.1.1. The Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS)	36
2.3.1.2. Ozone Monitoring Instrument (OMI)	38
III MATERIALES Y MÉTODOS	41
3.1. Gestión del acceso a la base de datos de OMI.	41
3.1.1. Bases de datos de OMI	42
3.2. Sistematización de las bases de datos.....	44
IV RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	50
V CONCLUSIONES	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
ANEXOS	59
Anexo 1. Curriculum vitae	59

Índice de Figuras

Figura 1. Síntesis y metabolismo de la vitamina D ₃	10
Figura 2. Sección transversal de las especies moleculares en la atmosfera que son susceptibles a interactuar con la radiación UV-C.	12
Figura 3. Concepto de Masa de aire.	15
Figura 4. Representación gráfica de las coordenadas geográficas. Fuente: http://img.genciencia.com/2008/10/p.jpj	16
Figura 5. Movimiento aparente del Sol en el cielo en función de la hora del día y la época del año. Fuente: www.indeam.gov.co	16
Figura 6. Mapa de Irradiación solar, México [kW/m ² por día].....	17
Figura 7. Distribución horaria de la irradiancia global en un día sin nubes.	19
Figura 8. Distribución horaria de la irradiancia solar en curso real (1) e hipotética (2).....	20
Figura 9. Estructura de la atmosfera terrestre.	25
Figura 10. Agujero de la capa de Ozono y su impacto en la circulación atmosférica del hemisferio sur.	30
Figura 11. Agujero en la capa de Ozono en la Antártida.....	34
Figura 12. (a) La posición de los 60 píxeles de Tierra para una medición de OMI en los trópicos. Tenga en cuenta que el eje “x” y “y” cubren una distancia diferente en la superficie de la Tierra. (b) El tamaño de los píxeles de OMI como una función del número de pistas a través de parcela.....	39
Figura 13. Mapa del estado de Zacatecas (Fuente INIFAP).	41
Figura 14. Latitudes correspondientes para el Estado de Zacatecas para OMI	42
Figura 15. Archivo correspondiente a las mediciones de OMI para la Columna total de Ozono.....	43
Figura 16. Archivo correspondiente a las mediciones de OMI para radiación Eritematoso UV.	43
Figura 17. Programa principal para la sistematización de las bases de datos.	44
Figura 18. Definición de constantes y variables.	45
Figura 19. Identificación de la existencia de las lecturas diarias.	46
Figura 20. Definición del número de días de cada mes.	46

Figura 21. Subrutina para año normal.....	47
Figura 22. Subrutina para año bisiesto.....	48
Figura 23. Subrutina para la lectura de datos diarios de radiación eritematoso UV en las bases de datos de OMI.....	49
Figura 24. Resultados de la radiación eritematoso UV obtenidas para el Estado de Zacatecas mediante OMI.	50
Figura 25. Radiación eritematosa UV de la parcela en la que se ubica la Ciudad de Zacatecas.....	51
Figura 26. Resultados de la CTO diarios para el Estado de Zacatecas obtenidos mediante OMI.....	52
Figura 27. Índice UV (ordenada izquierda) y Radiación Global en diferentes épocas del año registradas por la estación de Ciencias de la Tierra, UAZ durante el 2006.	54

Índice de Tablas

Tabla 1. Composición de la radiación solar por bandas anchas, fuera de la atmósfera.	9
Tabla 2. Radiación solar en algunos lugares de México [kW/m ² por día] Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas.....	18
Tabla 3. Relaciones entre índice UV, Irradiancia eritematosa, tiempos de exposición y riesgos para tipos de piel I y II	21
Tabla 4. Composición actual de la atmósfera en proporciones estables.....	26
Tabla 5. Composición de la atmósfera actual con componentes en proporciones cambiantes o evolutivas.	26
Tabla 6. Satélites que han usado TOMS.....	38

I INTRODUCCIÓN

La atmósfera es esencial en la naturaleza de la Tierra, es una capa de gases que, entre otras cosas, permite que la temperatura de la Tierra sea hospitalaria para todas las especies vivientes. Si la Tierra no tuviera atmósfera, la temperatura promedio sería del orden de 18°C bajo cero, en lugar de 15°C , la cual es la temperatura promedio real. Por las noches la temperatura sería del orden 80°C bajo cero y la temperatura durante el día sería del orden de 60°C , lo que haría imposible la vida en la forma en la que la conocemos.

La atmósfera propicia que el agua exista en sus tres estados; cada uno de ellos tiene una función especial: en forma líquida el agua es esencial para la vida, en forma de vapor es liberada de los océanos, mares, lagos y ríos, por la acción del calor del Sol para formar después las nubes, que después por causa de los movimientos convectivos de la atmósfera desplazan las nubes hacia los continentes, para posteriormente repartir la lluvia en toda la superficie de la Tierra. En forma de hielo, el agua de los casquetes polares, tiene gran importancia en el equilibrio térmico de la Tierra.

La atmósfera, sin embargo, no es homogénea y no consiste propiamente de una sola capa; consiste de varias capas, en cada una de las cuales ocurren fenómenos muy particulares. Cada capa tiene una función especial en el equilibrio térmico de la Tierra. Las capas realizan una actividad complementaria y las propiedades de la atmósfera son el resultado del conjunto de las capas.

El clima se desarrolla en la tropósfera, la capa vecina a la superficie de la Tierra. En la tropósfera el aire se comporta prácticamente como un gas ideal. La temperatura, de acuerdo a la ley de la hidrostática, desciende con la presión, o con la altitud, del orden de 6°C cada kilómetro, hasta llegar a la tropopausa, que se encuentra a unos 8 km en los polos y 14 km en el Ecuador. A partir de la tropopausa la temperatura comienza a aumentar, como resultado de las

reacciones de fotodisociación de varios componentes de la atmósfera como el Oxígeno, el N_2O y el Ozono, producidas por la radiación UV. La fotodisociación del Oxígeno la produce la radiación UV-C, mientras que la del Ozono la produce la radiación UV-B y UV-A.

La interacción de la radiación solar en la superficie de la Tierra y en la atmósfera ha sido de suma importancia a lo largo de la evolución de la Tierra. La radiación solar es la fuente de energía que induce una diversidad de los fenómenos naturales, de enormes proporciones, como la circulación de la atmósfera y de los océanos, la evaporación del agua que forma las nubes, la inducción de los vientos, los huracanes, los ciclones, los tifones, los tornados, entre otros fenómenos naturales.

Un gran número de estos fenómenos naturales, se produce por fotones de radiación solar de longitudes de onda muy específicos. Tales como la fotosíntesis y las reacciones de fotodisociación. La fotosíntesis es producida por fotones de luz visible y da lugar a la producción de biomasa. Por otra parte, la fotodisociación del Oxígeno en grandes altitudes da lugar primero a la formación de radicales libres de Oxígeno y estos al reaccionar con otras moléculas de Oxígeno dan lugar a la formación del Ozono. El Ozono es uno de los componentes de la atmósfera que existe en concentraciones muy pequeñas, pero que tiene una función vital: atenúa la radiación UV-B y UV-A hasta niveles relativamente inofensivos para los seres vivos.

Sin embargo, el Ozono, debido a su baja concentración en la atmósfera, no puede atenuar toda la radiación UV-A y UV-B. Por tanto, durante las horas de sol, puede haber una dosis de radiación UV en la superficie de la Tierra muy variable, dependiendo de la localización geográfica de cada lugar. Los niveles pueden alcanzar niveles peligrosos para los seres vivos. Tras prolongadas o continuas exposiciones a la radiación solar, en los animales destinados al pastoreo pueden producirse cataratas y ceguera. En Australia, es común que a los caballos se les

dote de un antifaz traslucido, para evitarles la producción de cataratas y daño en la retina.

En los humanos, las exposiciones prolongadas y/o continuas a la radiación UV pueden producir cáncer de piel. Los más altos valores de incidencia de cáncer de piel se tienen en países soleados y en poblaciones de piel blanca, como Australia, Estados Unidos y Europa. De acuerdo a Cancer Research UK en el mundo hay del orden de 55,500 muertes por año debidas a melanoma; en Europa del orden de 22,200 personas y en Reino Unido del orden de 2,400. En Reino Unido aparecen 15,400 casos de nuevos melanomas por año y 142,101 casos de cáncer de piel no-melanoma (GUEYMARD C.A., 2004). En el 2013 en Australia 1,960 personas murieron a causa de Melanoma, la edad promedio de las muertes fue de 72.2 años (ALBERS, 2016).

La Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) por sus siglas en francés: *Commission Internationale de l'Eclerage*, definió un espectro de referencia susceptible de inducir eritemas o enrojecimiento de la piel, al cual se denominó *espectro de acción eritematosa* $s(\lambda)$ (CIE, 1989). De acuerdo a la CIE, la aparición de un eritema depende de la naturaleza de la piel, y de las longitudes de onda de la radiación UV. Entre las longitudes de onda 250 y 298 nm, es decir la radiación UV-B, toda la radiación tiene riesgo máximo de producir eritemas, por tanto, el espectro de acción eritematoso es 1. Entre 298 y 328 nm el factor de riesgo disminuye en forma exponencial de 1 a 0.011; entre 328 y 400 el factor de riesgo disminuye dependiendo del tipo de piel.

La actividad eritematosa se cuantifica mediante el **potencial eritematoso**, el cual depende de la intensidad del espectro de radiación global UV ($Gh_{UV}(\lambda)$) y del espectro de acción eritematosa $s(\lambda)$. El potencial eritematoso se define como:

$$PE = \int_{280nm}^{400nm} Gh_{UV}(\lambda) s(\lambda) d\lambda$$

el cual de manera semejante a la irradiancia, se expresa en $\frac{W}{m^2}$.

Como la intensidad de la radiación UV varía a lo largo del día, la actividad eritematosa es diferente a lo largo de cada día. La cantidad de irradiancia acumulada durante un periodo de tiempo se llama **dosis eritematosa** la cual se define como la integral del potencial eritematoso en un intervalo de tiempo.

$$DE = \int_{t_1}^{t_2} PE dt$$

La cual se mide en $\frac{J}{m^2}$.

La medición y cuantificación de estas cantidades no es común, en general es complejo y realizar su cuantificación requiere un grado de especialización importante. Con el fin de guiar a la población sobre los riesgos de la aparición de eritemas, en lugar del concepto de dosis eritematosa, se desarrolló una escala “simple” asociada con la dosis eritematosa: el **índice UV**, con el fin de que la población se cuide por sí misma. Sin embargo, el índice UV tan solo es un cambio de escala de la dosis eritematosa: resulta de multiplicar la irradiancia global eritematosa, en W/m^2 , por 40. Y como la irradiancia es variable a lo largo del día, y a lo largo del año, no es fácil de asociar con la probabilidad de riesgo de aparición de eritemas.

Una primera pretensión de esta tesis fue presentar una caracterización del comportamiento de la dosis eritematosa en el Estado de Zacatecas. Para ello, primero, se hizo una investigación de fuentes documentales e instituciones, que pudieran dar razón de los niveles de radiación UV típicos del Estado de Zacatecas. No se encontró en el Estado información al respecto. Hay decenas de estaciones meteorológicas que miden radiación global, pero monitorear la radiación UV no se hace en forma permanente; y si bien es cierto que algunas estaciones miden el índice UV; de ahí a evaluar la dosis eritematosa hay un trecho considerable.

Sin embargo, encontramos que la NASA a través del programa OMI (Ozone Mapping Spectrometer), entre los años 2005 y 2006, realizó mediciones de la dosis eritematosa en forma global. Como parte del trabajo de esta tesis, se constituyó una base de datos, con todos los archivos de esa campaña de mediciones. Luego se desarrolló un algoritmo para poder leer los valores correspondientes al Estado de Zacatecas con el fin de sistematizarlos.

Esta tesis comprende la sistematización y análisis del comportamiento de la dosis eritematosa en el Estado de Zacatecas de fines del 2005 a principios del 2006. Si bien año con año las dosis no pueden ser iguales, la sistematización encontrada es indicativa de los niveles de dosis eritematosa que puede ocurrir en el Estado a lo largo del año.

Pregunta científica

¿Cuál es el comportamiento de la dosis eritematosa a lo largo del año en el Estado de Zacatecas? ¿Qué relación existe entre los niveles de dosis eritematosa y la Columna Total del Ozono, ambos reportados por OMI?

Hipótesis

Existe una relación no lineal entre los niveles de radiación eritematosa UV y los niveles de la Columna Total de Ozono reportada diariamente por OMI en el Estado de Zacatecas.

Objetivo general

Analizar el comportamiento de la radiación eritematosa ultravioleta a lo largo del año en el Estado de Zacatecas y su relación con la Columna Total de Ozono reportado por OMI.

Objetivos específicos

1. Gestionar el acceso a la base de datos de radiación eritematosa UV y de la Columna Total de Ozono de OMI y TOMS.
2. Sistematizar los datos para cuantificar los niveles de radiación eritematosa UV durante el día y a lo largo del año.
3. Escribir un programa de cómputo para seleccionar los valores diarios de la radiación eritematosa UV y la Columna Total de Ozono correspondientes al estado de Zacatecas.
4. Correlacionar los niveles de radiación eritematosa UV con el valor de la Columna Total de Ozono del día.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Radiación Ultravioleta

Desde la década de 1930 se sabe que los procesos de fusión termonuclear explican la extraordinaria producción de energía, la cual es producida en el interior del Sol, es transferida a la superficie y es radiada al espacio. La radiación generada en el núcleo solar está compuesta por Rayo-X y rayos γ , conforme aumenta la distancia al núcleo la temperatura disminuye y aumenta la longitud de onda dando origen a frecuencias más bajas del espectro de radiación solar. Una de las longitudes de mayor interés para este estudio es la radiación ultravioleta.

A comienzo del siglo XIX, para ser exactos en 1801, Johannes Ritter descubrió que el Sol emite una radiación “invisible” de longitud de onda más corta que el azul y el violeta, esta banda recibió el nombre de ultravioleta (UV). El experimento llevado a cabo por Ritter fue incitado por experimentos llevados a cabo por William Herschel, quien un año antes había descubierto la luz infrarroja, fue la primera vez que se detectó luz invisible, más allá del color rojo del espectro, por tal motivo Ritter decidió conducir sus experimentos para determinar si esa luz invisible existía más allá del final del color violeta del espectro.

El experimento llevado a cabo por Ritter se llevó a cabo con Cloruro de Plata, un químico que adquiere una tonalidad oscura cuando se expone a la luz solar, por lo tanto, Ritter decidió medir la velocidad de reacción del Cloruro de Plata al ser expuesto a los diferentes colores del espectro, para ello dirigió un haz de luz solar a un prisma de vidrio para descomponer el espectro, para ir colocando muestras de Cloruro de Plata en cada color; Ritter notó que el Cloruro de Plata mostró una mayor rapidez de reacción al estar más cerca del color azul y violeta, por tal motivo decidió colocar Cloruro de Plata en el área localizada más allá de la parte violeta del espectro, para su asombro, vio que el Cloruro de Plata reaccionaba con mayor eficiencia, lo cual demostró por primera vez que existía luz invisible más allá del espectro violeta. Esta luz invisible fue nombrada luz ultravioleta (UV).

En un principio esta radiación fue dividida en tres grandes bandas, sin embargo, actualmente, aunque las bandas anchas se siguen utilizando se pueden analizar bandas tan finas como el equipo de medición lo permita. En el exterior de la atmósfera, la radiación UV que proviene del Sol contiene tres bandas anchas: UV-A, UV-B y UV-C, pero existen otras bandas del espectro UV más energéticas: UV Vacío, y UV lejano o extremo. Se abordarán las bandas anchas debido a que son las más estudiadas y de mayor impacto para el ser humano y el ecosistema, en la superficie Terrestre y en la atmósfera Terrestre.

La luz UV es una parte de la energía radiante que proviene del sol y constituye la porción más energética del espectro electromagnético que incide en la superficie de la Tierra. A diferencia de las radiaciones ionizantes, esta energía no es suficiente para expulsar electrones, por consiguiente, no puede causar ionización. Las radiaciones UV de mayor energía son las de tipo C, con longitudes de onda de 100 a 280 nm, pero éstas no alcanzan la superficie terrestre. Del espacio exterior provienen otras radiaciones como la radiación X, Gamma y Cósmica, las cuales son atenuadas por la atmósfera; una fracción de ellas alcanza la superficie de la Tierra y forma parte de la radiación de fondo.

La intensidad de la radiación UV que llega a la Tierra depende de la hora del día y la época del año, de la latitud, de la altura, del espesor de la capa de Ozono, de la contaminación atmosférica, del clima y del albedo, entre otros factores, por lo tanto, para estimar los diferentes efectos de la radiación UV, se necesitan dosis ponderadas de UV-B, UV-A, y diferentes espectros de acción y su fluctuación en el tiempo.

En la Tabla 1 se presenta el rango de longitudes de onda, la composición en por ciento y la irradiancia de las bandas anchas de radiación solar fuera de la atmósfera.

Tabla 1. Composición de la radiación solar por bandas anchas, fuera de la atmósfera.

Tipo de radiación	Longitudes de onda [nm]	Porcentaje espectral	Energía aportada
UV-C	$119.5 < \lambda < 290$	0.73%	10.09 W/m ²
UV-B	$290 < \lambda < 320$	1.334 %	17.97 W/m ²
UV-A	$320 < \lambda < 400$	6.04 %	82.17 W/m ²
Visible	$400 < \lambda < 770$	45.85 %	622.5 W/m ²
IR	$\lambda > 770$	46.8 %	636 W/m ²

Estos datos fueron obtenidos a partir del espectro solar fuera de la atmósfera reportado por Geymard (2004). La particularidad del espectro de Geymard es que la integral del espectro resulta ser equivalente a la constante solar 1366.1 W/m².

2.1.1. Radiación UV-A, UV-B, UV-C

La radiación UV-A es la continuación de la radiación visible y es la responsable del bronceado de la piel, sin embargo, también es considerada como la “radiación de envejecimiento” y es capaz de penetrar en la epidermis y en la dermis de la piel. Es más eficaz que la UV-B en lograr un curtido de la piel inmediato que se produce por oscurecimiento de la melanina en la epidermis. La piel se puede quemar si es sometida a exposiciones intensas y prolongadas y hasta puede dañar las estructuras en el corion y causar foto-envejecimiento prematuro de la piel. Dado que este tipo de radiación puede producir daño estructural al DNA y dañar el sistema inmunológico, puede llevar a la formación de cáncer y se ha relacionado con el 67% de los melanomas maligno (Goihman-Yahr, 1996).

La radiación UV-B se considera como la “radiación de quemaduras”, es capaz de penetrar en la epidermis actuando principalmente a nivel de la capa basal de células, dañando el genoma de los queratinocitos, las células vitales del tallo de la epidermis produciendo efectos biológicos adversos directos e indirectos como la formación de foto-productos, inducción de la actividad ornitina descarboxilasa,

estimulación de la síntesis de DNA, detención del ciclo celular, foto-envejecimiento prematuro y foto-carcinogénesis, entre otros efectos dañinos para la salud si se tiene una exposición prolongada e intensa a la radiación UV-B (Lima-Bessa and Menck, 2005);

Sin embargo, hay estudios que demuestran que, para la síntesis de la Vitamina D₃ generada en la piel se requiere una dosis de radiación UV-B; esta penetra en la piel y convierte el 7-dehidrocolesterol en vitamina 25-hidroxicolecalciferol D₃ a través de la pre-vitamina D. Los bajos niveles de vitamina D se han asociado con un aumento en la mortalidad por enfermedades cardiovasculares. Las concentraciones bajas de vitamina D también se han relacionado con melanomas más agresivos con tiempos de supervivencia más cortos (Dobnig et al., 2008).

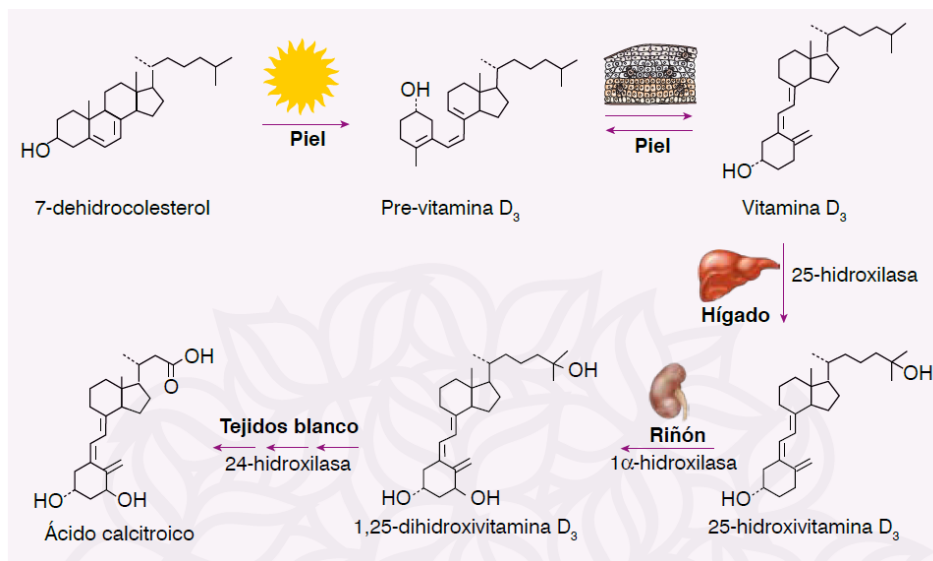


Figura 1. Síntesis y metabolismo de la vitamina D₃.

Durante la exposición a la luz UV-B, el 7-dehidrocolesterol que se encuentra en la piel es convertido a pre-vitamina D₃ y este a su vez es inmediatamente convertido a vitamina D₃, por un proceso dependiente de calor. La vitamina D₃ es luego transportada al hígado unida a la proteína de unión a la vitamina D (DBP), donde es convertida a 25-hidroxivitamina D₃, el metabolito que circula en mayor cantidad. La etapa de activación final, la 1α-hidroxilación ocurre principalmente, pero no

exclusivamente, en el riñón donde se forma 1.25-dihidroxitamina D₃, la forma hormonal de la vitamina D. El catabolismo se lleva a cabo por una enzima, la 24-hidroxilasa, la cual cataliza una serie de etapas de oxidación que tienen como resultado la escisión de una cadena lateral.

Después del descubrimiento del agotamiento de los niveles de Ozono estratosférico, el estudio de la variabilidad de la radiación UV-B en la superficie de la Tierra se convirtió en un tema de gran interés para la comunidad de ciencias atmosféricas, estudiando el efecto de la radiación UV-B en el medio ambiente y en la salud humana y expresando la necesidad de valores y dosis exactos de irradiación UV para los estudios. Como respuesta a esta necesidad, se ha medido la radiación UV con una variedad de instrumentos, desde banda ancha hasta espectral, en estaciones individuales y en todas las redes.

Las radiaciones UV de tipo C se encuentran entre las longitudes de onda de 200 y 280 nm. Este tipo de radiación es extremadamente peligrosa, pero interactúa en su totalidad con el Oxígeno y es retrodispersada al espacio por difusión Rayleigh, cuando la radiación UV-C llega a la estratósfera es casi nula.

La fotodisociación de O₂ es el mecanismo primordial de atenuación para la radiación UV-C, pero la difusión de Rayleigh aparece como un mecanismo que aumenta el flujo de fotones, elevando el rendimiento de la fotodisociación de O₂. Las capacidades de atenuación de N₂O, CO₂ y vapor de agua (H₂O) sobre la radiación UV-C son todas similares, aunque más pequeñas (menos del 0,6%), y esto se debe a su baja concentración. El O₃ tiene la mayor capacidad de atenuación teórica, pero se encuentra en altitudes medias ($15 \leq z \leq 40$ km), donde los fotones UV-C residuales casi se han desvanecido por la fotodisociación del O₂ o por difusión de Rayleigh, por lo que el efecto real sobre la atenuación UV-C es mínimo.

Las especies susceptibles de reaccionar con la radiación UV-C son O₂, O₃, CO₂, H₂O y N₂O. La homósfera, es la región en la que la composición del aire y el peso molecular son aproximadamente constantes, contiene 99.79% de la masa total reportada en la atmósfera, y también es la región donde residen las especies moleculares susceptibles de reaccionar con radiación UV-C.

En la Figura 2 se presentan las secciones transversales de las principales especies moleculares de la atmósfera que absorben la radiación UV. La sección transversal de O₂ (línea negra) se extiende hasta 250 nm y dada su concentración en la atmósfera (0.20953) es la especie molecular más determinante en la atenuación de la radiación UV-C entre 0 y 244 nm. Por debajo de 150 nm, las secciones transversales más importantes son las de N₂O y CO₂ (línea azul y magenta). Sin embargo, la capacidad de atenuación de estas especies no puede ser demasiado importante, debido a sus bajas concentraciones en la atmósfera (fracciones 3.15×10^{-7} y 4×10^{-4} respectivamente) y porque en esta región la irradiación ETR solar es de solo 0.01522 W/m² (0.14% de irradiancia UV-C).

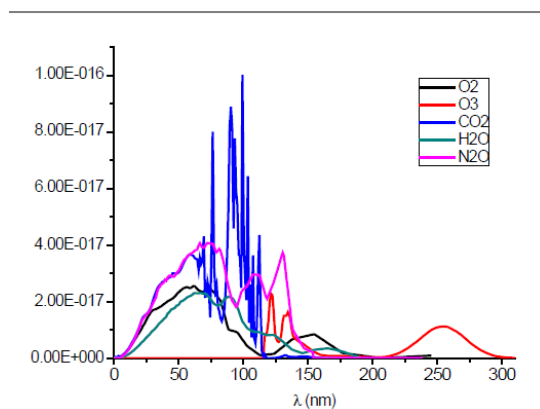


Figura 2. Sección transversal de las especies moleculares en la atmósfera que son susceptibles a interactuar con la radiación UV-C.

2.1.2. Radiación Eritematoso UV (UVER p.s.i.)

Según la definición de Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC) la exposición eritematosa UV es una medida del potencial

para daño biológico debido a la radiación solar ultravioleta. La exposición eritematosa de OMI se calculó utilizando la irradiancia UV que llega a la superficie de la Tierra y se pondera por el valor modelo de la susceptibilidad de la piel caucásica a las quemaduras solares. Se han realizado múltiples investigaciones para la comprensión de la reducción relativa media en la radiación UV alcanzada, en diversas ciudades, con diferentes composiciones atmosféricas, obteniendo como resultados una reducción media del 27.4%, concluyendo que la dispersión de aerosoles juega un papel importante en la recepción de la radiación eritematosa UV (Al-Mostafa et al., 2015).

McKinlay y Diffey establecieron el espectro de acción eritematosa, que representa la respuesta espectral de la piel humana a las quemaduras solares (o eritema) para longitudes de onda entre 280 y 400 nm. La actividad eritematosa se cuantifica mediante el **potencial eritematoso**, el cual depende de la intensidad del espectro de radiación global UV ($Gh_{UV}(\lambda)$) y del espectro de acción eritematosa $s(\lambda)$. El potencial eritematoso se define como:

$$PE = \int_{280nm}^{400nm} Gh_{UV}(\lambda) s(\lambda) d\lambda$$

el cual de manera semejante a la irradiancia, se expresa en $\frac{W}{m^2}$.

Como la intensidad de la radiación UV varía a lo largo del día, la actividad eritematosa es diferente a lo largo de cada día. La cantidad de irradiancia acumulada durante un periodo de tiempo se llama **dosis eritematosa** la cual se define como la integral del potencial eritematoso en un intervalo de tiempo.

$$DE = \int_{t_1}^{t_2} PE dt$$

La cual se mide en $\frac{J}{m^2}$.

Los niveles de potencial eritematoso (PE) en la superficie de la Tierra están controlados por factores geográficos (latitud, longitud, altitud, etc.) y atmosféricos, en el caso de la radiación global UV-B el curso diario en la superficie $Gh_{UV}(\lambda)$ depende de la variación del ángulo solar de cenit (SZA p.s.i.). Para días despejados, la Columna Total de Ozono es el atenuante principal, siendo su influencia altamente dependiente de la longitud de onda, ya que la absorción de Ozono muestra un aumento pronunciado en longitudes de onda más cortas que 330 nm. El impacto del agotamiento de la Capa de Ozono en los valores PE se expresa con frecuencia por medio del Factor de amplificación de la radiación (RAF p.s.i.), que se define como el porcentaje de aumento en el PE. McKenzie et al. (1991) encontraron que una reducción de Ozono del 1% conduce a un aumento del 1,25% en PE.

2.1.3. Irradiancia

No toda la radiación extraterrestre que intercepta a Tierra llega a la superficie de la misma, aun en condiciones de cielo despejado, solamente la radiación comprendida entre $0.29\mu\text{m}$ y $2.3\mu\text{m}$ es transmitida a la superficie Terrestre. La Capa de Ozono interactúa casi en su totalidad con la parte del espectro comprendida entre 0.15 y $0.30\mu\text{m}$, mientras que el vapor de agua junto con el Dióxido de Carbono (CO_2) interactúan en las bandas infrarrojas superiores a los $2.3\mu\text{m}$. Con el objeto de analizar la atenuación que experimenta la radiación a través de la atmósfera se define el concepto de masa de aire como la longitud de la trayectoria que sigue la radiación a través de la atmósfera. Al nivel del mar y cuando la trayectoria es vertical, se tiene una masa de aire unitaria (A.M. =1 p.s.s.i.).

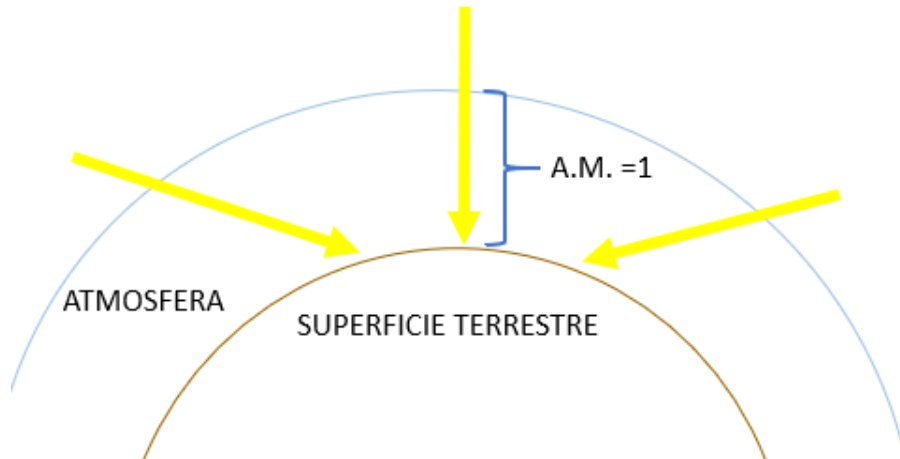


Figura 3. Concepto de Masa de aire.

En la cuantificación de la radiación solar se tienen 2 elementos en juego, uno determinista, debido a que la Tierra y el Sol se mueven siguiendo las leyes de la física y otro estocástico debido a la existencia de la atmósfera terrestre y a las condiciones climáticas que se presentan en ella. No obstante, el estudio de la radiación solar está muy desarrollado y existen modelos que predicen con bastante precisión la energía solar disponible y su comportamiento en el tiempo. Comúnmente se utilizan el término de Irradiancia. En este sentido la Irradiancia se refiere a la potencia instantánea recibida por unidad de área y se expresa en W/m^2 .

2.1.4. Azimut

Un punto sobre la esfera terrestre se puede situar utilizando el sistema de coordenadas geográficas, siendo éstas la latitud, que es el ángulo formado por la vertical a la Tierra en dicho punto y el plano del Ecuador, y la longitud, ángulo que forma el meridiano que pasa por dicho punto con el meridiano de Greenwich. La latitud determina la inclinación con la que caen los rayos del Sol y la diferencia de la duración del día y la noche. Las variaciones de la insolación que recibe la superficie terrestre se deben a los movimientos de rotación (variaciones diarias) y de traslación (variaciones estacionales).

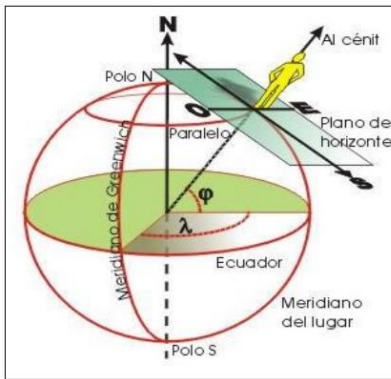


Figura 4. Representación gráfica de las coordenadas geográficas. Fuente: <http://img.genciencia.com/2008/10/p.jpj>

Las variaciones en latitud son causadas por la inclinación del eje de rotación de la Tierra. El ángulo de incidencia de los rayos del Sol no es el mismo en verano que en invierno siendo la causa principal de las diferencias estacionales. Cuando los rayos solares inciden con mayor inclinación calientan mucho menos porque el calor atmosférico tiene que repartirse en un espesor mucho mayor de atmósfera, con lo que se filtra y dispersa parte de ese calor.

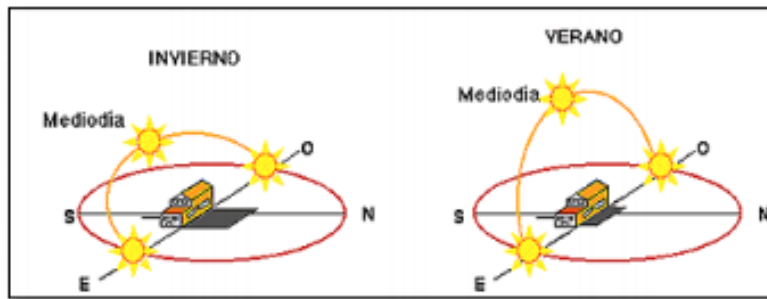


Figura 5. Movimiento aparente del Sol en el cielo en función de la hora del día y la época del año. Fuente: www.indeam.gov.co

La longitud geográfica es una de las coordenadas fundamentales que determinan en la Tierra la localización de un punto. La longitud es el ángulo formado entre el meridiano que pasa por el punto considerado y el meridiano fundamental de Greenwich elegido, por convención, como origen de esta coordenada geográfica. Se mide desde 0 grados a 180 grados al Este o al Oeste con respecto a

Greenwich. Desde el punto de vista de un observador sobre la superficie de la Tierra, el Sol describe un arco desde su salida (orto) hasta su puesta (ocaso). Por definición, a mitad de su recorrido, es decir, en el mediodía solar, el Sol pasa por el meridiano local. Se denomina cenit a la vertical desde un punto cualquiera de la Tierra al corte con la hipotética trayectoria de la esfera solar.

2.1.5. Hora solar

De toda la radiación Solar, solo el 47% llega al planeta Tierra, de este porcentaje podemos desglosar los siguientes datos:

- 28 % es reflejada por las nubes.
- 5 % la absorben tanto nubes como polvo.
- 17 % La absorben los gases atmosféricos como el vapor de agua.
- 0.2 % la absorben las plantas.
- 21 % la absorbe la superficie terrestre.
- 26 % La absorbe el agua.

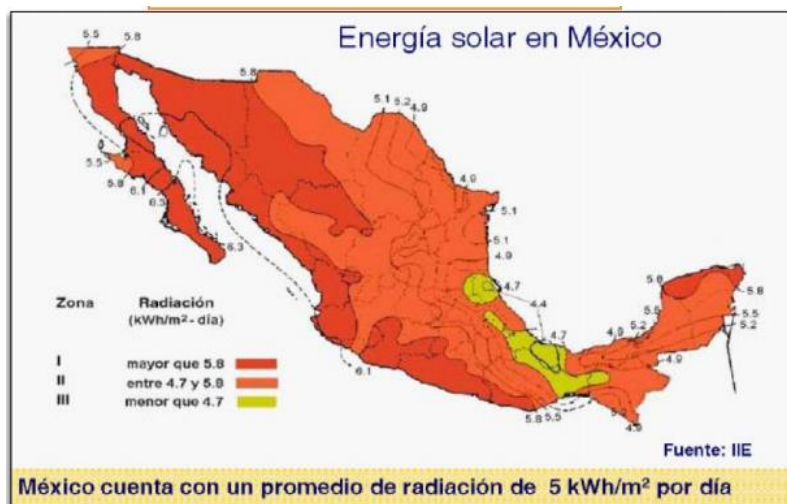


Figura 6. Mapa de Irradiación solar, México [kW/m² por día]

Considerando la capacidad energética del Sol y la ubicación de México en el globo terráqueo, la cual permite que el territorio nacional destaque en el mapa mundial de territorios con mayor promedio de radiación solar anual con índices que van de

los 4.4 kWh/m² por día en la zona centro, a los 6.3 kWh/m² por día en el norte del país.

La cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre depende de diversos factores, uno de ellos es la distancia de la tierra respecto al sol según la época del año, así como la inclinación del eje terrestre respecto al plano de la órbita solar. Esto ocasiona que los rayos solares lleguen con más potencia a algunas regiones del planeta dependiendo del mes del en el que nos encontremos. En México, estos factores tienen gran repercusión en las variaciones de radiación solar que se recibe en el territorio nacional. En la Tabla 2 se muestran algunas regiones de la República Mexicana con sus valores de radiación solar según el mes.

Tabla 2. Radiación solar en algunos lugares de México [kW/m² por día] Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas.

Estado	Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ags	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Sonora	Hermosillo	4.0	4.6	5.4	6.6	8.3	8.5	6.9	6.6	6.7	6.0	4.7	3.9	6.0
Sonora	Guaymas	4.5	5.7	6.5	7.2	7.3	6.8	5.9	5.8	6.3	5.9	5.0	5.6	6.0
Chihuahua	Chihuahua	4.1	4.9	6.0	7.4	8.2	8.1	6.8	6.2	5.7	5.2	4.6	3.8	5.9
SLP	SLP	4.3	5.3	5.8	6.4	6.3	6.1	6.4	6.0	5.5	4.7	4.2	3.7	5.4
Zacatecas	Zacatecas	4.9	5.7	6.6	7.5	7.8	6.2	6.2	5.9	5.4	4.8	4.8	4.1	5.8
Guanajuato	Guanajuato	4.4	5.1	6.1	6.3	6.6	6.0	6.0	5.9	5.8	5.2	4.8	4.6	5.6
Aguascalientes	Aguascalientes	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	6.3	6.2	5.9	5.7	5.1	4.8	4.0	5.6
Oaxaca	Salinas Cruz	5.4	6.3	6.6	6.4	6.1	5.0	5.6	5.9	5.2	5.9	5.7	5.2	5.8
Oaxaca	Oaxaca	4.9	5.7	5.8	5.5	6.0	5.4	5.9	5.6	5.0	4.9	4.8	4.4	5.3
Jalisco	Colotlán	4.6	5.7	6.5	7.5	8.2	6.6	5.8	5.6	5.8	5.3	4.9	4.1	5.9
Jalisco	Guadalajara	4.6	5.5	6.3	7.4	7.7	5.9	5.3	5.3	5.2	4.9	4.8	4.0	5.6
Durango	Durango	4.4	5.4	6.5	7.0	7.5	6.8	6.0	5.6	5.7	5.1	4.8	3.9	5.7
Baja California	La Paz	4.4	5.5	6.0	6.6	6.5	6.6	6.3	6.2	5.9	5.8	4.9	4.2	5.7
Baja California	San Javier	4.2	4.6	5.3	6.2	6.5	7.1	6.4	6.3	6.4	5.1	4.7	3.7	5.5
Baja California	Mexicali	4.1	4.4	5.0	5.6	6.6	7.3	7.0	6.1	6.1	5.5	4.5	3.9	5.5
Querétaro	Querétaro	5.0	5.7	6.4	6.8	6.9	6.4	6.4	6.4	6.3	5.4	5.0	4.4	5.9
Puebla	Puebla	4.9	5.5	6.2	6.4	6.1	5.7	5.8	5.8	5.2	5.0	4.7	4.4	5.5
Hidalgo	Pachuca	4.6	5.1	5.6	6.8	6.0	5.7	5.9	5.8	5.3	4.9	4.6	4.2	5.4

Como se puede observar en el estado de Zacatecas se tiene en promedio 5.8 kW/m² al día. En base a esta estimación se puede determinar el periodo de tiempo que se tiene irradiancia, se da por entendido que en los periodos de madrugada y noche es de cero, desde el amanecer (≈7:00 hrs) hasta el mediodía solar (12:00~13:00 hrs) el valor de la irradiancia es creciente en ausencia de nubes hasta llegar a un valor máximo y desde el mediodía hasta el ocaso (≈18:00 hrs) el valor de la irradiancia decrece hasta llegar a cero. Una representación ideal de este comportamiento se muestra en la Figura 7, donde se observa la curva ideal de un día si nubes.

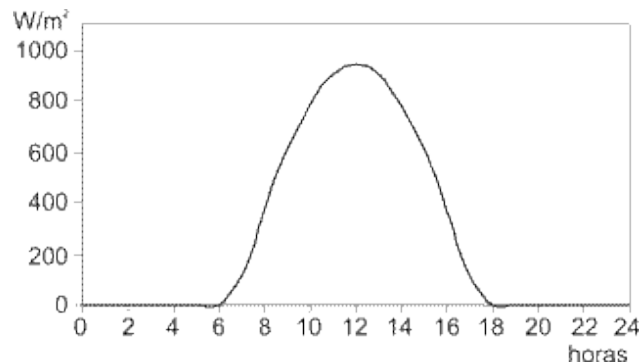


Figura 7. Distribución horaria de la irradiancia global en un día sin nubes.

La hora solar pico se podría definir como la unidad encargada de medir la irradiancia solar y definirla como el tiempo (en horas) de una hipotética irradiancia solar constante de 1,000 W/m². En la figura 8 se presenta la irradianza típica de un día sin nubes y una región rectangular cuya altura es 1000W/m² y cuya área es equivalente al área bajo la curva de la irradiancia real. Como puede verse la base de la región rectangular es aproximadamente de 5 horas; lo que se puede interpretar como que durante 5 horas de ese día hipotético la irradiación fue equivalente 1000 W/m².

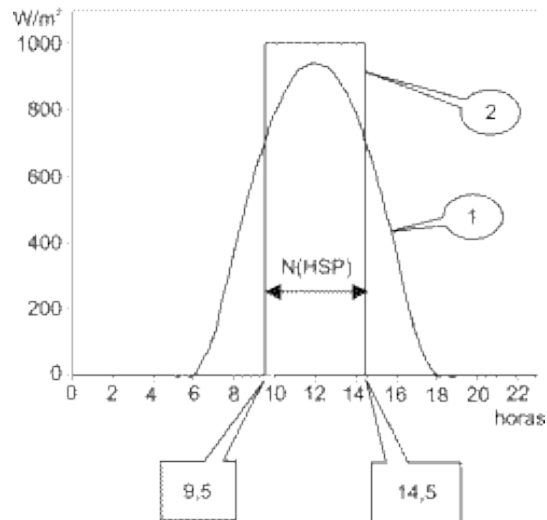


Figura 8. Distribución horaria de la irradiación solar en curso real (1) e hipotética (2).

2.1.6. Índice UV

El índice se introdujo en Canadá en 1992 en respuesta a las crecientes preocupaciones sobre el aumento potencial de la radiación ultravioleta (UV) debido al agotamiento del Ozono y luego fue adoptado como indicador estándar de niveles de UV por la Organización Meteorológica Mundial y la Organización Mundial de la Salud en 1994. El índice UV se basa en el espectro de acción eritematoso (enrojecimiento de la piel), ya que tiene el efecto más inmediato a corto plazo en los humanos. El índice UV fue diseñado para representar la radiación UV ponderada eritematosa en una forma simple, como un solo número. El índice UV es una escala de irradiancia calculada multiplicando la irradiancia eritematosa, en W/m^2 , por 40.

Tabla 3. Relaciones entre índice UV, Irradiancia eritematosa, tiempos de exposición y riesgos para tipos de piel I y II

Índice	Potencia [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]	Tiempo Máximo de Exposición [min]		Riesgo
1	2.78	150-240	270-360	Bajo
2	5.57	75-120	15-180	Bajo
3	8.35	50-80	90-120	Bajo
4	11.10	37-60	67-90	Bajo
5	13.92	30-48	54-72	Medio
6	16.70	25-40	45-60	Medio
7	19.50	21-34	38-51	Alto
8	22.20	19-30	34-45	Alto
9	25.00	17-27	30-40	Alto
10	27.80	15-24	27-36	Peligroso
11	30.50	14-22	25-33	Peligroso
12	33.30	12- 20	22-30	Peligroso
13	36.10	11-18	21-28	Peligroso
14	38.90	11-17	20-26	Peligroso
15	41.70	10-16	18-24	Peligroso

2.1.7. Interacción de la radiación UV con la materia

En la actualidad, la luz ultravioleta es usada en diferentes formas, como la medicina, donde se emplea para matar bacterias y virus, en los procesos de esterilización de equipos e incluso comida. En ciencia se usa para el estudio de los átomos, para el entendimiento y aprendizaje de los objetos más calientes en el espacio exterior, como lo son las estrellas. Y es importante mencionar que algunos animales tales como las mariposas, pájaros y algunos insectos son capaces de ver la radiación ultravioleta.

Los fotones de radiación UV-B y UV-A tienen menor energía que los de la radiación UV-C, pero tienen suficiente como para descomponer la molécula de Ozono, en una molécula de Oxígeno y un átomo en forma de radical libre, la destrucción de las moléculas de Ozono es uno de los mecanismos mediante el cual se evita que la radiación UV-B y UV-A lleguen a la superficie de la Tierra, los

átomos de Oxígeno liberados en forma de radicales libres poseen una gran reactividad y puede fácilmente combinarse para crear otra molécula de Ozono o puede tomar también un átomo de Oxígeno de una molécula de Ozono y crear dos moléculas de Oxígeno.

Los efectos biológicos de la radiación UV son múltiples, donde se induce efectos biológicos sobre aquellos compuestos que absorben directamente los fotones, ya que la energía que éstos portan, es transferida a los compuestos denominadas cromóforos y luego dejan de existir. A partir de los cambios moleculares foto-inducidos se desencadena una cascada de eventos que comienza con la transformación de esta foto-energía en una señal bioquímica. Las reacciones foto-bioquímicas subsecuentes provocan los cambios en la célula. Los ácidos nucleicos y proteínas son los cromóforos celulares por excelencia siendo el Triptofano y la Tirosina los aminoácidos que absorben principalmente la radiación UV. También pueden generarse especies reactivas del nitrógeno y este exceso de radicales libres provoca una cascada de eventos que propician un deterioro progresivo de las estructuras y funciones celulares. La lesión de UV-A tiende a causar necrosis de las células endoteliales, dañando los vasos sanguíneos dérmicos.

2.2. Atmósfera Terrestre

La atmósfera de la Tierra es una capa de gases que enrarece rápidamente conforme a la altitud, la densidad disminuye en forma exponencial a partir de la superficie Terrestre, con un factor e a una altitud del orden de 7km. El 80% de la masa atmosférica está contenida debajo de 20km de altitud, que mediante aproximaciones de geometría plana se estima una masa total de la atmósfera de 5.29×10^{18} kg, que en comparación con diversas masas, como la de los mares, correspondiente a 1.35×10^{21} kg, es 4 milésimos, o en comparación con la masa total de la Tierra, que es de 5.98×10^{24} kg, entonces la masa de la atmósfera corresponde a menos de una millonésima parte (Albers and Nathan, 2013).

La atmósfera está constituida por un fluido, que posee gran variedad de movimientos, entre los cuales se consideran los vientos locales, los huracanes y la propia circulación de la atmósfera, que es de dimensiones globales, esta movilidad hace que su descripción sea muy compleja, regida por leyes de mecánica de fluidos y de termodinámica para sistemas continuos.

La atmósfera mantiene un equilibrio térmico en la Tierra, jugando un papel sumamente importante en la transferencia de energía recibida del Sol, también determina el clima y hace a la Tierra un lugar habitable, mantiene una interacción con los océanos y con procesos que ocurren en la superficie terrestre tal como la fotosíntesis. Los factores más importantes que determinan el comportamiento de la atmósfera son la gravedad que impide que las moléculas escapen hacia el espacio exterior y determina la composición y distribución vertical o estratificación de las capas de la atmósfera, la compresibilidad del aire que permite cambios de presión, que se traducen en cambios de concentración en los componentes, los intercambios de energía entre masas de aire a través del trabajo que ejercen con el medio que les rodea y la rotación de la Tierra.

2.2.2. Formación de la atmósfera

Durante 5,000 millones de años, la composición de la atmósfera ha sufrido variaciones, hoy en día la atmósfera se compone primordialmente de Nitrógeno, Oxígeno, trazas de gases nobles, vapor de agua, Bióxido de Carbono y Ozono. Se estima que la atmósfera primitiva consistía en hidrógeno y helio, expulsados hacia el espacio debido a las altas temperaturas de la masa fundida del núcleo terrestre y las fuerzas de gravedad.

Con el enfriamiento gradual y la formación de una capa sólida superficial, fueron liberándose y acumulándose alrededor del globo Bióxido de Carbono, vapor de agua y Nitrógeno, la presencia de gases atmosféricos, su presión y el enfriamiento paulatino de la corteza terrestre, condensaron el abundante vapor de agua

existente y abrieron un ciclo lluvioso de varias decenas de miles de años, creando así las cuencas oceánicas que hoy conocemos, si a esto se adiciona la acción de los rayos solares, que generó una síntesis de las primeras moléculas orgánicas a partir de la variedad de partículas presentes en el medio marino, donde cianobacterias, fitoplancton y algas abrieron el ciclo de la fotosíntesis, proceso por el cual las plantas verdes convierten la energía lumínica en energía química que puede ser usada por los seres vivos.

El proceso de la fotosíntesis en las plantas verdes se da cuando el pigmento de las clorofilas captura energía y a partir de allí la actividad de un laboratorio natural donde electrones, protones, agua, glúcidos, enzimas, carbohidratos y aminoácidos surgen de poderes asimilatorios y reductores que no se ha terminado de descifrar completamente, las sustancias orgánicas resultantes son un componente crucial para casi todos los seres vivos, sin la fotosíntesis la vida tal como la conocemos no existiría.

La estructura de la atmósfera se divide en cinco capas, la más inferior es llamada tropósfera, se extiende hasta una altitud de unos 13 km y 18 km en los trópicos, es la zona en la que tiene lugar la mayor parte de la actividad humana y la contaminación, la tropósfera contiene alrededor del 75 % de la masa total de la atmósfera; después se encuentra la estratósfera, que es unas tres veces más gruesa que la tropósfera pero contiene sólo el 15 % de la masa total de la atmósfera, está llega hasta los 50 km aproximadamente; luego se encuentra la mesósfera que va desde los 50 a los 80 km, está se caracteriza por un marcado descenso de la temperatura al ir aumentando la altura por encima de los 80 km; después se encuentra la ionósfera, llamada así por su elevada concentración de iones y se extiende hasta los 640 km; y por último la exósfera, que se extiende hasta los 9,600 km y está constituye el límite exterior de la atmósfera (Frías, 2013).

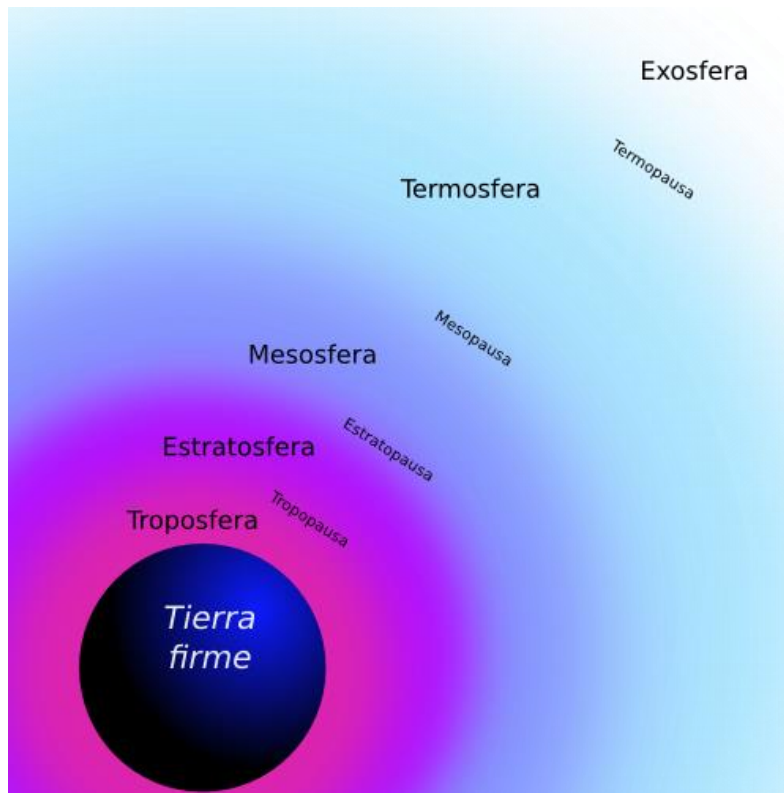


Figura 9. Estructura de la atmósfera terrestre.

La radiación que nos llega del Sol afecta las condiciones de la tropósfera, la cual es la capa más próxima a la superficie de la Tierra. La Atmósfera Estándar ISA considera que el espesor de la troposfera es de 11km. La radiación solar modifica la temperatura, la presión y la humedad atmosférica.

Como se mencionó anteriormente solo tres gases son los componen mayoritarios de la atmósfera, el Nitrógeno, Oxígeno y Argón, los otros gases químicamente pueden considerarse como impurezas, sin embargo su función puede ser más importante, ya que cada uno de los componentes tiene su función en el equilibrio térmico o en las propiedades ópticas de la atmósfera, entre estos gases se encuentra el Ozono, que es responsable de las propiedades térmicas de la estratósfera y también cumple con la función de filtrar la radiación UV hasta niveles permisibles para la vida, en la Tabla 4 se muestran los valores en

proporciones estables de los gases componentes de la atmósfera (Casiniere, 2013).

Tabla 4. Composición actual de la atmósfera en proporciones estables.

Oxígeno	O_2	$20.953 \pm 0.004\%$
Nitrógeno	N_2	$78.11 \pm 0.001\%$
Argón	Ar	$0.934 \pm 0.001\%$
Neón	Ne	$0.001818 \pm 0.000004\%$
Helio	He	$0.000524 \pm 0.000004\%$
Criptón	Kr	$0.000114 \pm 0.000001\%$
Xenón	Xe	$0.0000087 \pm 0.0000001\%$
Hidrógeno	H_2	0.00005%
Metano	CH_4	0.0002%
Óxido nitroso	N_2O	$0.00005 \pm 0.00001\%$

En la Tabla 5, se muestra los componentes en proporciones cambiantes o evolutivas, es decir los compuestos formados por los elementos existentes en la atmósfera.

Tabla 5. Composición de la atmósfera actual con componentes en proporciones cambiantes o evolutivas.

Agua	H_2O	De 0 a 7%
Bióxido de carbono	CO_2	0.033%
Anhídrido Sulfuroso	SO_2	De 0 a 0.001%
Metano	CH_4	De 0 a 0.0002%
Ozono	O_3	De 0 a 0.00001%
Peróxido de Nitrógeno	NO_2	Trazas

Uno de estos compuestos La cantidad total de agua contenida en la atmósfera es alrededor de $4.3 \times 10^{14} m^3$, esto implica que la atmósfera contiene del orden de 1% del total de agua dulce que existe en la Tierra. El vapor de agua contenida en esta asciende a $1.2 \times 10^{13} m^3$, lo cual equivale a 36 veces menos que el agua en las nubes y 3500 veces menos que el agua dulce total.

2.2.2. Ozono

El Ozono se considera como uno de los gases esenciales para la vida en la superficie Terrestres, este es una forma molecular del oxígeno compuesta por tres átomos (O_3), en condiciones normales de presión y temperatura, es un gas incoloro, de olor acre y que puede ser tóxico si se respira en grandes cantidades.

Se encuentra en forma natural atmósfera en diferentes proporciones, principalmente en dos regiones, el 10% en la tropósfera, extendiéndose hasta una altitud de 10 km, donde es un gas de origen secundario formado por medio de reacciones que implican Óxidos de Nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles en la presencia de luz solar, también puede introducirse en la tropósfera a través de su descenso desde la estratósfera, aunque este fenómeno es más efectivo sobre los océanos o regiones alejadas de la contaminación atmosférica urbana y el restante 90% de Ozono se encuentra en la estratósfera, donde es una molécula beneficiosa que absorbe la radiación UV perjudicial del sol antes de llegar a la superficie de la Tierra.

El origen del Ozono en cada una de las capas de la atmósfera es muy diferente, en la estratósfera es el resultado de la fotólisis del Oxígeno, mientras que en la tropósfera es consecuencia de las reacciones de los productos de combustión, aunque se tiene una pequeña producción de forma natural.

Fue descubierto por el científico Alemán Christian Friedrich Schönbein el 13 de marzo de 1839, quien le dio el nombre a partir de la palabra *ozein* del griego, que es una forma alotrópica del Oxígeno que tiene tres átomos en cada molécula O_3 . Es una molécula angular, polar y diamagnética y es un agente oxidante más activo que el oxígeno molecular, el Ozono estratosférico fue descubierto en 1913 por el francés Charles Fabry y por el físico Henri Buisson (Rubin, 2001).

En la troposfera, el Ozono es un contaminante atmosférico peligroso que puede causar daños a los seres humanos, animales, vegetación y materiales al aumentar la concentración de Ozono en la superficie, causando reacciones fotoquímicas de smog en presencia de contaminación atmosférica creciente. En general, la temperatura y el calentamiento urbano a largo plazo tienen un serio impacto en el aumento de la concentración de Ozono, debido a que el calor acelera las reacciones químicas en la atmósfera. Los valores más altos de la concentración de Ozono en ambientes urbanos son causados principalmente por la radiación solar y los gases de efecto invernadero.

En la estratósfera el Ozono es relativamente escaso, representa apenas el 0.00001% de la composición de la atmósfera, esto implica que hay aproximadamente 3 moléculas de Ozono por cada 10 millones de moléculas de aire.

2.2.3. Formación de la capa de Ozono

La parte con una elevada concentración de Ozono de la estratósfera se conoce como la Capa de Ozono. Su concentración es muy baja comparada con los principales gases como el nitrógeno y el Oxígeno moleculares, Si comprimiéramos el Ozono de toda la atmósfera en una sola capa en la superficie de la Tierra tendría el grosor de un lápiz, de unos 3-4 mm, sin embargo, estas pequeñas cantidades son suficientes para proteger la vida en la Tierra de la radiación ultravioleta.

Los fotones de radiación UV-B y UV-A tienen menor energía que los fotones de radiación UV-C, pero tienen suficiente para descomponer la molécula de Ozono, en una molécula de Oxígeno y un átomo de Oxígeno en forma de radical libre. La destrucción de las moléculas de Ozono es uno de los mecanismos mediante el cual se evita que la radiación UV-C y UV-B lleguen a la superficie de la Tierra, los átomos de oxígeno liberados en forma de radicales libres poseen una gran

reactividad y puede combinarse para crear otra molécula de Ozono o también un átomo de Oxígeno con una molécula de Ozono y crear dos moléculas de Oxígeno. La energía producida por la disociación da como resultado un aumento en la agitación gaseosa y por lo tanto se genera un gradiente de temperatura en la estratósfera, es por ello que el Ozono juega un papel de suma importancia en la temperatura en la atmósfera.

2.2.3.1. Unidades Dobson

La cantidad de Ozono en la atmósfera se mide mediante las unidades Dobson (DU) por sus siglas en inglés "*Dobson unit*". Una unidad Dobson equivale a 2.69×10^{16} moléculas de Ozono contenidas en una columna de la atmósfera con una base de 1 cm^2 de área, el promedio en los niveles de Ozono es de 300 DU, las cuales podrían ser equivalentes a una capa de 3mm de espesor contenido estrictamente de Ozono, sin embargo, el rango del espesor de la capa de Ozono puede variar entre 100 DU hasta 600 DU.

2.2.4. Balance del Ozono en la estratósfera

El equilibrio del Ozono estratosférico actualmente es un tema de interés en la comunidad científica, debido a que se presenta una alta tendencia de agotamiento del Ozono estratosférico, que es evidente en el agujero de Ozono que aparece cada primavera austral sobre la Antártida y ocasionalmente se desarrolla sobre el Ártico.

El agotamiento del Ozono es catalizado por los clorofluorocarbonos (CFC), y otros productos químicos que se produjeron originalmente como refrigerantes y moléculas propulsoras. La radiación UV descompone los CFC y los radicales de cloro resultantes catalizan la destrucción del Ozono estratosférico (Molina and Rowland, 1974).

Estas reacciones de agotamiento de la capa de Ozono se identificaron en los años setenta y los productos químicos responsables están ahora ampliamente regulados por el Protocolo de Montreal firmado en 1987. Como resultado de este tratado ambiental internacional se ha tenido éxito y se ha salvado a la Tierra de una exposición significativamente mayor a la radiación UV-B, sin embargo, aún existen muchos impactos ambientales debido al agotamiento del Ozono. Este impacto se muestra claramente en el aumento de la radiación UV-B que llega a la superficie Terrestre. El agotamiento de la capa de Ozono es a menudo difícil de cuantificar.

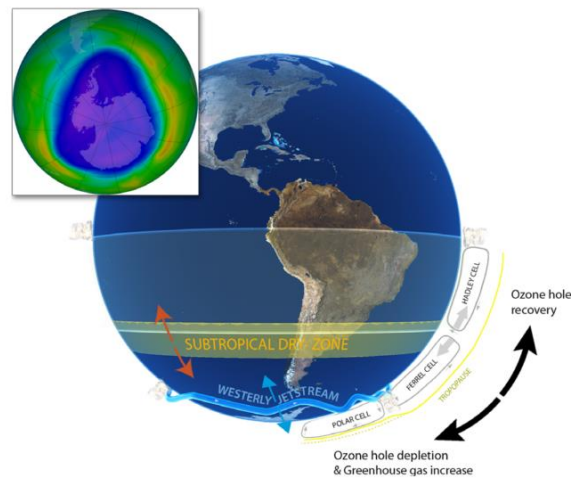


Figura 10. Agujero de la capa de Ozono y su impacto en la circulación atmosférica del hemisferio sur.

El impacto del agujero antártico en la circulación atmosférica del hemisferio sur, ha provocado cambios significativos en la atmósfera a nivel global, en el caso de la tropósfera se presentan fenómenos como el aumento en la temperatura, a causa del aumento de radiación UV en la superficie terrestre, otro de los fenómenos es la descongelación de los casquetes polares. Por otro lado, si el Ozono se agota en la estratósfera, no se generan interacciones del Ozono con la radiación UV, por lo cual se tiene un enfriamiento de la estratosfera y esto genera un levantamiento de la tropopausa. Como se mencionó anteriormente mientras la Antártica se enfría el resto del globo terráqueo se calienta. Durante el siglo pasado el aumento de los

gases de efecto invernadero y el agotamiento del Ozono sobre la Antártida han impulsado las precipitaciones en las altas latitudes, sequías en altitudes medias, generando cambios ecológicos de gran impacto.

2.2.4.1 Formación y destrucción del Ozono

La destrucción del Ozono se ha dado de forma natural a lo largo de la evolución de la atmósfera. Pero no ha sido fatal, porque el radical liberado tiene posibilidad de formar una nueva molécula de ozono, de esta manera se tiene una reacción en cadena. En el espectro solar la radiación UV-A es más abundante que la UV-B y esta a su vez, es más abundante que la UV-C, sin embargo, la poca cantidad de Ozono en la estratósfera es de tal impacto que los fotones no encuentran a su paso moléculas y por tanto pueden llegar hasta la superficie de la Tierra sin producir fotólisis (de la Cruz, 2003).

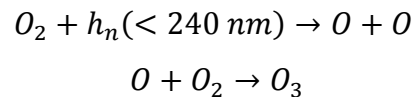
Dado que la concentración de Ozono no ha aumentado en forma espectacular, significa que se alcanzó el equilibrio y que la destrucción de las moléculas de Ozono se da de forma simultánea y en la misma proporción en que se forma. Durante la evolución de la atmósfera el nivel de acumulación del Ozono ha sido escaso, lo cual lleva a pensar que los procesos naturales de generación de Ozono no son suficientes para mantener el equilibrio actualmente.

Dado que el Ozono se produce por la interacción de la radiación UV con el Oxígeno y el ángulo de incidencia de la radiación solar cambia en el transcurso del año, se tiene un cambio en la intensidad de la radiación solar, lo cual conlleva a un cambio en la producción de Ozono a lo largo del año, a este fenómeno se le conoce como cambios estacionales.

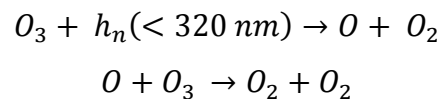
Existen factores de origen natural que inducen variaciones o perturbaciones en la concentración del Ozono que pueden ser de magnitudes locales o zonales, por ejemplo, las erupciones volcánicas de gran intensidad inyectan cantidades importantes de HCl en la estratósfera, dando como resultado la destrucción de las

moléculas de Ozono por la acción del Cl. Adicionalmente las variaciones en los ciclos naturales del Ozono también son asociados con un fenómeno conocido como “Oscilación quasi-biennial”, en la cual cada 26 meses cambian de dirección los vientos tropicales de este a oeste (HORINOUCI, 1993).

La formación del Ozono de esta presentada por la siguiente expresión



La destrucción del Ozono se presenta por la siguiente expresión



Las formas presentadas anteriormente son las formas naturales de la destrucción y de formación de Ozono, donde la interacción con los fotones de radiación UV son participes de este proceso.

Sin embargo, existe la destrucción no-natural del Ozono, la cual es causada principalmente por las actividades humanas, esta se da por los Clorofluorocarbonos (CFC) que son gases poli atómicos, no tóxicos, no inflamables, no solubles en agua, es decir, altamente estables e inertes a temperatura ambiente, que se desarrollaron en los años 30's con el carácter de sustancias de innovación con el fin de modernizar la industria de la refrigeración, desde finales del siglo XIX y principios del siglo XX los refrigeradores utilizaban Amoníaco, Cloruro Metílico y Dióxido de Azufre como gas de refrigeración (Molina and Rowland, 1974).

Estos gases, en caso de fugas o cortos producían innumerables incendios e intoxicaciones fatales, lo cual causo que algunas compañías promovieran la

búsqueda de gases de remplazo para la refrigeración, que dio como resultado los CFCs. En 1928 se creó el di-Clorodifluorocarbono y fue autorizado en 1930 para su producción por General Motors y Du Pont, las cuales crearon *Kinetic Chemical Company* para industrializarlo con el nombre de Freón, y para 1935 ya había en los estados unidos 8 millones de refrigeradores usando Freón-12, y de forma simultánea Freón-11 como aire acondicionado, el uso de los CFCs se generalizó en todo el mundo, las ventas anuales fueron del orden de miles de millones de dólares y los volúmenes de producción rebasaron más de un millón de toneladas métricas por año (Molina and Rowland, 1974).

Fueron una innovación porque durante varias décadas se consideró que no eran perjudiciales al medio ambiente, debido a que estos no reaccionan con ningún material a temperatura ambiente, incluyendo la piel humana, y no son solubles en agua, pero justamente estas propiedades hacen que no puedan ser eliminados o arrastrados por mecanismos naturales como la lluvia, la nieve o el granizo. Por lo tanto, perduran en la atmósfera, emigrando paulatinamente hacia la estratósfera por difusión y agitación gaseosa. Si a esto le agregamos que la vida de los CFCs es de cientos de años, por lo cual se mantiene presentes en la atmosfera por varios de años. En 1973 Mario Molina y Sherwood Rowland investigando el destino de los CFC acumulados en la atmósfera, predijeron la destrucción del Ozono estratosférico por la acción de estos componentes.

Se ha propuesto que el mecanismo a través del cual los CFC atacan la capa de Ozono es una reacción fotoquímica que al incidir la luz sobre la molécula de CFC, se libera un átomo de Cloro con un electrón libre, denominado radical Cloro, muy reactivo y con gran afinidad por el Ozono, que rompe la molécula de este último. La reacción sería catalítica; la teoría propuesta estima que un solo átomo de Cloro destruiría hasta 100,000 moléculas de Ozono (Molina and Rowland, 1974). Las evidencias de las predicciones de Molina se encontraron en 1984, cuando Joe Farman, Brian Gardiner y Jonathan Shanklin descubrieron lo que se llamó como el hueco en la capa de ozono en la Antártida (Figura 11).

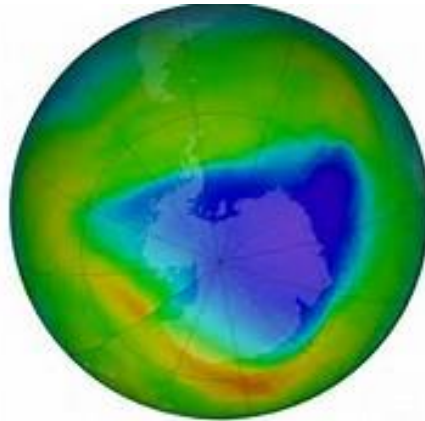


Figura 11. Agujero en la capa de Ozono en la Antártida.

Desde la última evaluación del agotamiento del Ozono, se han implementado métodos para la cuantificación de la variabilidad geográfica y temporal del Ozono, basadas en mediciones terrestres y satelitales. Esta extensión de la observación del Ozono ha aumentado la confianza estadística en los cambios estimados a largo plazo en la Columna Total de Ozono.

Se ha reportado que el aumento del N_2O tiene un impacto significativo en la destrucción del Ozono, este es un gas que conduce a la formación de Nitrógeno reactivo en la estratosfera, cancelando los aumentos promediados de Ozono a nivel mundial (Bais et al., 2015).

2.3. Satélites e instrumentos de mediciones de la Columna Total de Ozono.

En la actualidad los satélites se han convertido en una herramienta fundamental para el desarrollo de modelos, métodos y la comprensión misma de la Tierra y el espacio. Hace cinco décadas, los satélites tenían un uso exclusivamente militar, para tareas de navegación, investigación y espionaje del ejército, pero actualmente los vemos en funcionamiento a través de diversas actividades como la transmisión de televisión satelital, reportes climáticos, transmisiones en directo de eventos desde cualquier parte del mundo, o simplemente una llamada

telefónica, entre otras cosas, uno de los usos más comunes para los satélites es llevado a cabo por los medios y agencias de prensa, que los utilizan para transmitir las noticias locales e internacionales al instante y así distribuirlos a medios de comunicación de todas partes del mundo, las empresas distribuidoras de televisión antes de enviar las señales, las reciben por medio de satélites, otra de las aplicaciones con mayor importancia es la localización de barcos o aviones accidentados, que gracias al envío de señales a satélites, se pueden enviar equipos de rescate (Ploman, 1985).

Pero los satélites también realizan muchas otras tareas que no se encuentran a la vista del ser humano, sin embargo, son esenciales para el funcionamiento de países enteros, uno de esos usos es la investigación terrestre, que abarca la medición del movimiento de continentes y la predicción de fenómenos geológicos, la medición áreas de bosques, etc. También tiene aplicaciones espaciales, como el estudio de galaxias lejanas y del origen del Universo.

Los satélites son simplemente objetos que giran alrededor de un planeta en trayectoria circular o elíptica, la cual se denomina órbita, el punto más lejano de una órbita de forma elíptica se denomina apogeo, mientras que el punto más cercano se denomina perigeo. En el caso de la Tierra tiene un único satélite natural que es la Luna, pero además existen más satélites artificiales hechos en centros de investigación espacial, los cuales son lanzados y puestos en órbitas. Los satélites artificiales no se producen en masa, la mayoría son construidos especialmente para la realización de tareas específicas (Hilton and Sala, 1967).

Hay más de 26,000 objetos artificiales registrados orbitando el planeta, que se consideran como basura espacial, y son lo suficientemente grandes como para ser detectados, la mayoría son pedazos de artefactos que se desprendieron de viejos satélites que ya han dejado de funcionar, herramientas que se han escapado de las manos de astronautas que trabajan en la reparación de artefactos en órbita, cargas y objetos de investigación que fueron colocados erróneamente en órbitas equivocadas, propulsores de cohetes de naves que se han utilizado por naves o sondas interplanetarias para escapar de la gravedad del planeta al ser lanzados y

que luego se desprenden de las naves y son abandonados en órbitas alrededor de la Tierra, por lo que el ser humano no sólo contamina la Tierra sino que también el espacio (Hilton and Sala, 1967).

2.3.1. Tipos de Satélites

Según su peso y la órbita en la que se encuentren, los satélites tienen diversas clasificaciones:

- Astronómicos: conocidos como telescopios u observatorios espaciales.
- Biosatélites: satélites capaces de trasladar organismos vivos, como plantas y animales.
- Meteorológicos: reportan la actividad meteorológica de la tierra y su comportamiento atmosférico.
- Navegación: estos satélites registran señales para conocer las posiciones y coordenadas de distintos medios de transporte.
- Comunicación: satélites encargados de recibir y enviar señales de radio para usos comunicativos.
- Energía solar: cuya función principal es la recolección de datos sobre la energía solar, transmitiendo estos datos a la Tierra.
- Anti-satélites: estos satélites están destinados a la destrucción de objetos espaciales, o basura espacial, que pueda obstaculizar la circulación de otros satélites.
- Estacionarios: mejor conocidos como estaciones espaciales.

En este trabajo se emplea la utilización de bases de datos proporcionados por satélites de tipo meteorológicos.

2.3.1.1. The Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS)

“The Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS)” fue propuesto por A.J. Krueger, para proporcionar un mapeo a la columna total de Ozono con una resolución alta basada en datos diarios. Fue lanzado en el satélite Nimbus-7 el 24 de Octubre de 1978, para proporcionar un mapa atmosférico global de Ozono. Fue

el primero de 8 instrumentos designados para proporcionar un seguimiento a largo plazo al monitoreo del Ozono atmosférico. Los datos de Nimbus-7 TOMS son la única fuente de alta resolución para la información global acerca del Ozono total contenido en la atmósfera para el periodo del 1 de noviembre de 1978 al 6 de mayo de 1993. La instrumentación de TOMS se basa en una sola etapa fixed-grating (Rejilla Fija) Ebert-Fastie monochromater, método basado principalmente en el uso de un pequeño láser de He-Ne y la observación del patrón de difracción de Fresnel. También mide radiación en banda de 6 longitudes de onda, un nanómetro de ancho de banda, en la región ultravioleta. Las longitudes de onda son: 312.3, 317.4, 331.1, 339.7, 360.0, y 380.0 nm (McPeters et al., 1993).

TOMS escanea en dirección transversal con pasos de 3 grados paso a paso hasta 51 grados, para obtener un total de 35 muestras. El campo de visión instantáneo IFOV por sus siglas en inglés (“instantaneous field-of-view”) es de 3x3 grados resulta en un área de aproximadamente 250km², variando de 125km² en los extremos a 280km² en los trópicos, las proporciones de radiación ultravioleta retro dispersadas a la radiación incidente en las cuatro longitudes de onda más cortas se utilizan para inferir el Ozono total, mientras que las relaciones correspondientes en las dos longitudes de onda más largas se utilizan para la estimación de la reflectividad efectiva debido a la combinación de la influencia en la superficie como son, las nubes y los aerosoles de la Tierra. Se hicieron diferentes pruebas con TOMS, el Nimbus-7 descubrió un nuevo agujero en la capa de Ozono en la Antártida en 1989. Sin embargo, la mayoría de estos sistemas no duraron tanto en funcionamiento, después de su tercer lanzamiento, se empezó a utilizar un nuevo sistema de monitoreo (Fleig et al., 1982).

Tabla 6. Satélites que han usado TOMS

The Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS)			
Satélite	NIMBUS-7	METEOR-3	EARTH PROBE
Fecha	24/Oct/78 – 6/May/93	22/Aug/91 – 24/Nov/94	2/July/96 - 14/Dec/2005

2.3.1.2. Ozone Monitoring Instrument (OMI)

El “Ozone Monitoring Instrument (OMI)”, un espectrómetro de imágenes que mide la cantidad de gases traza como el Ozono y el Dióxido de Nitrógeno (NO₂), este es uno de los instrumentos empleados por el satélite EOS-AURA, que fue puesto en órbita el 15 de julio de 2004, cuya misión es estudiar la composición química y dinámica de la atmósfera terrestre, para mejorar la comprensión de la calidad del aire y el clima. OMI ha proporcionado más de 2 años de alta resolución NO₂ mundial, en una base de datos de densidad columna vertical diaria. El instrumento consta de dos espectrómetros de imágenes nadir de visualización que miden el rango espectral UV / VIS de 270 nm a 500 nm con una resolución espectral entre 0.45 nm y 1.0 nm FWHM (del inglés *Full Width at Half Maximum*). El muestreo espectral es de dos a tres veces la resolución espectral (Kroon et al., 2008).

OMI utiliza dos sensores CCD con 780 × 576 píxeles cada uno. La primera dimensión abarca las longitudes de onda espectrales, y la segunda dimensión se reagrupa para proporcionar mediciones en 60 posiciones a través de la pista orbital cada 2 segundos. En el modo de observación mundial, las 60 medidas cubren una franja de aproximadamente 2,600 kilómetros. Debido a aberraciones ópticas y la alineación asimétrica entre el eje óptico del instrumento y los ejes de la nave espacial, los píxeles de Tierra no están alineados simétricamente con respecto al plano orbital. El tamaño de píxel es de 13 × 24 km² en el nadir, y aumentar de tamaño fuera del nadir (ver figura 1b) a ~ 40 × 160 km² en los dos extremos de la pista. El cambio de tamaño de píxel, y por lo tanto, la resolución

espacial, debe tenerse en cuenta en el análisis e interpretación de datos OMI, en particular cuando se crea mapas de promedios ponderados de datos (Kroon et al., 2008).

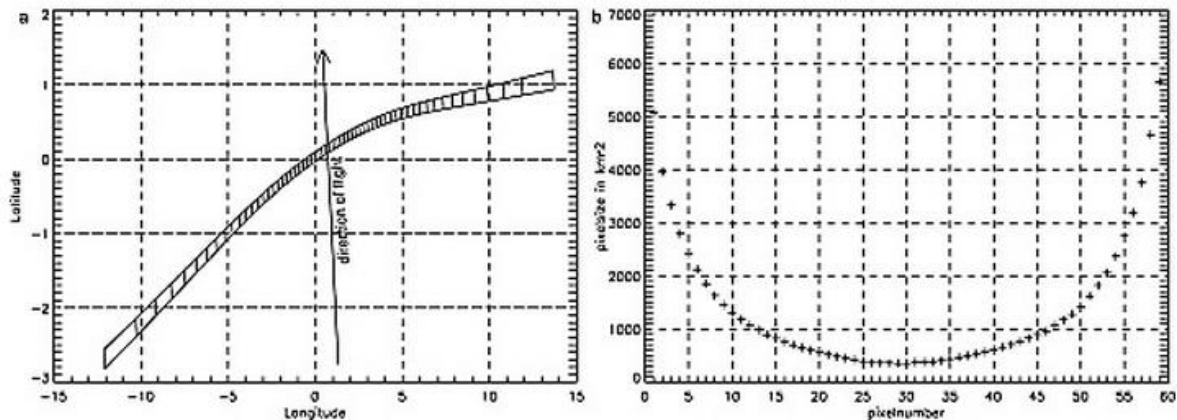


Figura 12. (a) La posición de los 60 píxeles de Tierra para una medición de OMI en los trópicos. Tenga en cuenta que el eje “x” y “y” cubren una distancia diferente en la superficie de la Tierra. (b) El tamaño de los píxeles de OMI como una función del número de pistas a través de parcela.

OMI es una contribución de la Agencia de los Países Bajos para los Programas Aeroespaciales (NIVR) en colaboración con el Instituto Meteorológico Finlandés (FMI) para la misión EOS Aura. Continúo el registro TOMS para el Ozono total y otros parámetros atmosféricos relacionados con la química del Ozono y el clima. OMI emplea imágenes hiperespectrales en modo push-broom para observar la radiación solar retro dispersada en el espectro visible y ultravioleta. La Tierra será vista en 740 bandas de longitud de onda a lo largo de la trayectoria del satélite con una franja suficientemente grande como para proporcionar una cobertura global en 14 órbitas (1 día). El nominal de 13 x 24 km de resolución espacial puede ser ampliado a 13 x 13 km para la detección y el seguimiento de las fuentes de contaminación a escala urbana. Las capacidades hiperespectrales mejoran la exactitud y precisión de los importes totales de Ozono. Las capacidades hiperespectrales también permiten una radiométrica precisa y la calibración de

longitud de onda automático en el largo plazo. Las características de longitud de onda ampliadas ofrecerán (Tanskanen et al., 2006):

- Continuar tendencias de ozono total mundial de las mediciones por satélite a partir de 1970 con BUUV en Nimbus-4.
- Mapa del ozono en 36 x 48 km, una resolución espacial nunca antes alcanzado.
- Medir los componentes clave de la calidad del aire, como el NO₂, SO₂, O₃, y las características de aerosol.
- Distinguir entre los tipos de aerosoles, como el humo, el polvo y sulfatos. Medir la presión de nubes y cobertura, que proporcionan datos para derivar el ozono troposférico.
- Mapa de distribución mundial y las tendencias de la radiación UV-B.
- Una combinación de algoritmos incluidos TOMS versión 7, Diferencial de Absorción Óptica Espectroscopia (DOAS), hiperspectrales buv, recuperaciones y modelado directo se utilizará conjuntamente para extraer los distintos productos de datos OMI.
- En tiempo casi real (NRT) La producción de Ozono y otros gases traza.

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Gestión del acceso a la base de datos de OMI.

En primera estancia se identificaron la ubicación correspondiente al estado de Zacatecas, correspondientes a un rango que abarca de los 21° hasta los 25° de latitud Norte y de los 101° hasta los 105° de longitud Oeste.



Figura 13. Mapa del estado de Zacatecas (Fuente INIFAP).

Las mediciones de OMI son realizadas con separación de 1°. Por lo tanto, al cuadricular el estado se toman los grados representativos del estado. La cuadrícula corresponde a 11 parcelas ya que se maneja 1° de separación tanto en latitud como en longitud, sin embargo, se contemplarán las parcelas con mayor extensión territorial del Estado de Zacatecas, correspondientes 8 parcelas.



Figura 14. Latitudes correspondientes para el Estado de Zacatecas para OMI

En base a esta cuadrícula se sistematizarán las bases de datos para la obtención de las mediciones correspondientes a la Columna Total de Ozono y a la radiación Eritematoso UV reportadas por OMI diariamente.

3.1.1. Bases de datos de OMI

Las bases de datos de OMI utilizadas fueron la correspondiente a las mediciones diarias de la Columna Total de Ozono y las mediciones diarias de la radiación eritematoso UV, efectuadas mediante los satélites y correspondiente a un periodo de 3 años aproximadamente (2004-2006), lo cual constituyen 1096 archivos diarios para ambas variantes.

Los datos reportados de la Columna Total de Ozono están en Unidades Dobson por lo tanto, tiene tres espacios reservados. En el caso de ausencia de medición se tienen ceros. En el caso de los datos de OMI en la descripción del archivo se lee el número del día y algunos datos generales sobre las mediciones. Para los datos reportados de radiación eritematoso UV se tienen unidades de J/m^2 , cada valor consiste en tres dígitos, el primero corresponde al exponente (E), los siguientes dos números corresponden a una mantisa (M), se tiene un punto decimal implícito entre los dos números de la mantisa. Juntos E y M codifican un

3.2. Sistematización de las bases de datos.

El programa se escribió en Pascal. Como tal cuenta con subrutinas, las cuales apoyan al desarrollo y obtención de los resultados, el código empleado se basa en subrutinas, las cuales realizan diferentes sistematizaciones para la interpretación de los datos. El programa principal consiste en el siguiente código, el cual mediante las subrutinas programadas realiza la sistematización y análisis de datos para radiación eritematoso UV.

```
{-----  
                                PROGRAMME PRINCIPAL  
-----}  
BEGIN  
  ClrScr;  
  writeln(' escriba el número de años a tratar, para 2004 ');  
  read(n);  
  annee:=2004;  
  Nomo=('UVEZAC.dat');  
  Assign(ficho,nom0);  
  Rewrite(ficho);  
  
  For ii:=1 to n do  
    Begin  
      Str(annee,anne);  
      If (annee MOD 4)<>0 then  
        normal  
      Else  
        bisextil;  
      annee:=annee+1;  
    End;  
    Close(fich0);  
  END.  
┌
```

Figura 17. Programa principal para la sistematización de las bases de datos.

Lo que se realiza en el programa principal es escribir el número del año que se desea analizar. Después asigna un fichero anual, donde se identifican si existen los archivos diarios correspondientes a ese año. Identifica si el año a analizar es normal, es decir de 365 días o es año bisiesto, de 366 días.

Una de las primeras partes del código es definir las constantes y las variables usada en el programa, en la Figura 18, se muestran las variables y las constantes usada en el código, como constantes se emplean la latitud, la longitud, la temperatura máxima, entre otras. Mientras que para las variables se consideran más elementos desde el día, mes y año, hasta la medición correspondiente a las latitudes del Estado.

```
PROGRAM UVOMIZAC;
{$M 65520,0,655360}
{$N+}
    {Ce programme pour tirer les valeurs de lo a partir des fichiers de TOMS
     d:\C\UV\.... }
USES
    Crt,dos;

CONST
    L=5.7183333333;latitude=22.75;TUmax=12.0;z=240;
    ESC=#27;V1=0.185;Rosol=0.2;
    pas=5;

VAR
    R,A                                     :Char;

    ju,mo,an,{V,}hr,min,clg,clt,hd,md,sd,hf,mf,sf,day :String[2];
    anne                                     :String[4];
    J,I,jj,mm,aa,annee,jour,jourdeb,jourfin,erreur,e,k,H1,o,
    q,f,o1,p,Q1,q2,qn,jourl,ii,qi,k1,n,m,cl_g,cl_T,qii,nn,oo,
    q3,q4,q5,ndat,iii,mois,cont,UV,dian,cont0,expo,man,afte,loI :Integer;
    b0,b1,b2,dif,lat1,lat0,lomax,lomin,lomoy,sumlo2,lo2,
    lomini,sigma,cvar,diat,UVI,UVtot,UVmoy,UVmax,UVmin         :Extended;
    nomD,nomO,nomY,nomZ,nom1,
    nom2,nom3,nom4,nom5,nom6,nomx,repertoire,
    Lo215a,Lo215b,Lo225a,Lo225b                                 :String;

    FichY,FichA,FichT,{FAtlas,}
    F1,F2,FichW,FichX,{FichE,FichD,FichAL}FichO,
    FichZ,FG1,FG2,FG3,FG4,FG5,FG6,
    FGT1,FGT2,FGT3,FGT4,FGT5,FGT6                             :Text;
    expon, mant,after                                          :String[1];
    datec                                                       :String[7];
    hmes                                                         :String[8];
    espace                                                       :String[1];
    mol,dia,UVs,los      :String[3];
    UVE :String[5];
    anno                                                         :String[4];
```

Figura 18. Definición de constantes y variables.

Una de las subrutinas empleadas en el código es la ubicación de los ficheros, es decir, los archivos de las lecturas diarias reportadas por las bases de datos, esta identificación de ficheros se realiza mediante la subrutina, mostrada en la Figura 19. Esta realiza un proceso sencillo.

```

PROCEDURE fichier;
begin
    { Str(annee,anne); }
    Nomy:=concat('Y'+annee+'\'+annee+mo+ju+'.txt');
    Assign(fichY,nomY);
    Reset(fichY);
    Readln(fichY,ligne);
    dia:=copy(ligne,7,3);
    Val(dia,dian,erreur);
    If (annee MOD 4)<>0 then
        diat:=annee+(i-1)/365
    Else
        diat:=annee+(i-1)/366;
    mol:=copy(ligne,11,3);
    ju:=copy(ligne,15,2);
    anno:=copy(ligne,19,4);
    hr:=copy(ligne,72,2);
    min:=copy(ligne,75,2);
    Write(fich0,diat:12:3,i:6{,ju:4,mol:3,anno:4 {,hr:3,':',min:2});
    {----- Dos saltos para leer las primeras dos lineas de comentarios--- }
    For k:=1 to 2 do readln(fichY);
        Lat0:=-89.5;
        Lecture; Lat1:=-74.5;
    Sault; Lecture; lat0:=lat1;lat1:=-59.5;
    Sault; Lecture; lat0:=lat1;lat1:=-44.5;
    Sault; Lecture; lat0:=lat1;lat1:=-23.5;
    Sault; Lecture; lat0:=lat1;lat1:=-0.5;
    Sault; Lecture; lat0:=lat1;lat1:=0.5;
    Sault; Lecture; lat0:=lat1;lat1:=23.5;
    Sault; Lecture; lat0:=lat1;lat1:=44.5;
    Sault; Lecture; lat0:=lat1;lat1:=59.5;
    Sault; Lecture; lat0:=lat1;lat1:=74.5;
    Sault; Lecture; lat0:=lat1;lat1:=89.5;
    Sault; Lecture;}
    Sault0; LectuZac;
    Writeln(Fich0);
    Close(fichY);

```

Figura 19. Identificación de la existencia de las lecturas diarias.

Después de corroborar la existencia de las carpetas y de los archivos diarios, el programa consiste en definir el número de día correspondiente a cada mes del año mediante una subrutina de identidad, donde se define el mes y el número de días para cada mes.

```

{-----}
PROCEDURE IDENTI;
BEGIN
    val(ju,jj,erreur);val(mo,mm,erreur);
    {if (mo='jan') then mm:=1; if (mo='fev') then mm:=2; if (mo='mar') then mm:=3;
    if (mo='avr') then mm:=4; if (mo='mai') then mm:=5; if (mo='jun') then mm:=6;
    if (mo='jul') then mm:=7; if (mo='aou') then mm:=8; if (mo='sep') then mm:=9;
    if (mo='oct') then mm:=10; if (mo='nov') then mm:=11; if (mo='dec') then mm:=12;}
    val(an,aa,erreur); if (aa>90) then
        annee:=1900+aa else annee:=2000+aa;
    if (annee MOD 4)<>0 then e:=28 else e:=29;
    CASE mm OF
        01: jour:=0+jj;    02: jour:=jj+31;    03: jour:=jj+e+31;
        04: jour:=jj+e+62; 05: jour:=jj+e+92; 06: jour:=jj+e+123;
        07: jour:=jj+e+153; 08: jour:=jj+e+184; 09: jour:=jj+e+215;
        10: jour:=jj+e+245; 11: jour:=jj+e+276; 12: jour:=jj+e+306;
    END;
END;

```

Figura 20. Definición del número de días de cada mes.

Después se corrobora si el año del cual se realizara el análisis es año bisiesto o normal, es decir, de 366 días o de 365 días. Esta identificación se realiza mediante un comando For. Las dos subrutinas empleadas para dicha identificación se muestran en la Figura 21 para un año normal y Figura 22 para un año bisiesto.

```

PROCEDURE normal;
  Begin
  For i:=1 to 365 do

  IF ( (annee=2005) and (i<>137) and (i<>138) and (i<>181) and (i<>182) or
    ( (annee=2006) ) { and ((i<>59) or (i>62)) and (i<>185) and (i<>186) })
    or ((annee=2007) and (i<>252)) or
      (annee=2009) or
      (annee=2010) or
      (annee=2011) or
      (annee=2013) )
  Then
  Begin
  If (I<32) Then
  Begin mois:=01; jour:=i; Str(jour,day);str(mois,mo);
  If (jour<10) Then ju:=concat('0'+day) else ju:=day;
  mo:=concat('0'+mo);
  End;
  If (I>31) and (I<60) Then
  Begin mois:=02; jour:=i-31; Str(jour,day);str(mois,mo);
  If (jour<10) Then ju:=concat('0'+day) else ju:=day;
  mo:=concat('0'+mo);
  End;
  If (I>59) and (I<91) Then
  Begin mois:=03; jour:=i-59; Str(jour,day);str(mois,mo);
  If (jour<10) Then ju:=concat('0'+day) else ju:=day;
  mo:=concat('0'+mo);
  End;
  If (I>90) and (I<121) Then
  Begin mois:=04; jour:=i-90; Str(jour,day);str(mois,mo);
  If (jour<10) Then ju:=concat('0'+day) else ju:=day;
  mo:=concat('0'+mo);
  End;
  If (I>120) and (I<152) Then
  Begin mois:=05; jour:=i-120; Str(jour,day);str(mois,mo);
  If (jour<10) Then ju:=concat('0'+day) else ju:=day;
  mo:=concat('0'+mo);

```

Figura 21. Subrutina para año normal.

```

PROCEDURE Bisextil;
Begin
    For i:=1 to 366 do
        If
            ((annee=2004) and (i>229) and (i<>231) and (i<>232)
            and (i<>234) and (i<>235) and (i<>236) and (i<>237)
            and (i<>238) and (i<>239) and (i<>240) and (i<>241)
            and (i<>242) and (i<>243) and (i<>244) and (i<>245)
            and (i<>246) and (i<>247) and (i<>248) and (i<>261)
            and (i<>262) and (i<>263) and (i<>264) and (i<>265)
            and (i<>266) and (i<>325) and (i<>326) and (i<>327)
            and (i<>328) and (i<>329) and (i<>330) and (i<>331)
            and (i<>332) and (i<>333) and (i<>334) and (i<>335)
            ) or
            ( (annee=2008)and (i<>272) and (i<>273) ) or
            ( (annee=2012) and (i<>365) and (i<>366))
        Then
            Begin
                If (I<32) Then
                    Begin mois:=01; jour:=i; Str(jour,day);str(mois,mo);
                        If (jour<10) Then ju:=concat('0'+day) else ju:=day;
                            mo:=concat('0'+mo);
                        End;
                    If (I>31) and (I<61) Then
                        Begin mois:=02; jour:=i-31; Str(jour,day);str(mois,mo);
                            If (jour<10) Then ju:=concat('0'+day) else ju:=day;
                                mo:=concat('0'+mo);
                            End;
                        If (I>60) and (I<92) Then
                            Begin mois:=03; jour:=i-60; Str(jour,day);str(mois,mo);
                                If (jour<10) Then ju:=concat('0'+day) else ju:=day;
                                    mo:=concat('0'+mo);
                                End;
                            If (I>91) and (I<122) Then

```

Figura 22. Subrutina para año bisiesto.

Y como tal, la parte más importante del código es la lectura de las mediciones correspondientes a las latitudes y longitudes del estado de Zacatecas. En la Figura 23 se muestra el comienzo de estas lecturas, donde se puede observar que el inicio del código corresponde a brincar todas las lecturas de las latitudes no correspondientes al estado de Zacatecas. Después se enfoca en encontrar el renglón correspondiente a la primera latitud (21.5°), donde se identifica la medición de la primera parcela del estado de Zacatecas. Después se pasa a la segunda latitud (22.5°), en este se realiza la identificación de dos parcelas, y así sucesivamente hasta que se cubre la identificación de cada una de las parcelas que componen el Estado.

```

PROCEDURE lectuZac;
  Begin
  [----- Estas lineas corresponden a las longitudes que hay que brincar ----- ]
    For o:=1 to 2 do
      Readln(fichY);
      {   Read(FichY,espace);}
      UVmax:=0; UVmin:=1E5; UVtot:=0; UVmoy:=0;cont:=0;q1:=0;sumlo2:=0;
  [----- 21.5>N ----- ]
    For oo:=1 to 24 do
      Read(FichY,UVs); Val(UVs,UVI,erreur); q1:=q1+1;
      IF (UVI<>999) Then
        Begin
          cont0:=cont0+1;
          expon:=copy(UVs,1,1); Val(expon,expo,erreur);
          mant:=copy(UVs,2,1); Val(mant,man,erreur);
          after:=copy(UVs,3,1); Val(after,afte,erreur);
          UVE:= concat(mant+'.'+after+'E'+expon);
          Val(UVE,UVI,erreur);
          UVtot:=UVTot+UVI;
          UVmoy:=UVmoy+UVI;
          sumlo2:=sumlo2+sqr(UVI);
          Cont:=cont+1;
          If ((UVI<>0) and (UVmin>UVI)) Then UVmin:=UVI;
          If (UVmax<UVI) Then UVmax:=UVI;
        End;
      Readln(FichY);
  [----- 22.5>N ----- ]
    For o:=1 to 14 do Readln(FichY,ligne);

    For oo:=1 to 24 do
      Read(FichY,UVs); Val(UVs,UVI,erreur); q1:=q1+1;
      IF (UVI<>999) Then
        Begin
          cont0:=cont0+1;
          expon:=copy(UVs,1,1); Val(expon,expo,erreur);
          mant:=copy(UVs,2,1); Val(mant,man,erreur);

```

Figura 23. Subrutina para la lectura de datos diarios de radiación eritematoso UV en las bases de datos de OMI.

Para la medición de la Columna Total de Ozono se empleó el mismo código con una ligera variación correspondiente a la ubicación de las bases de datos.

IV RESULTADOS Y DISCUSIONES

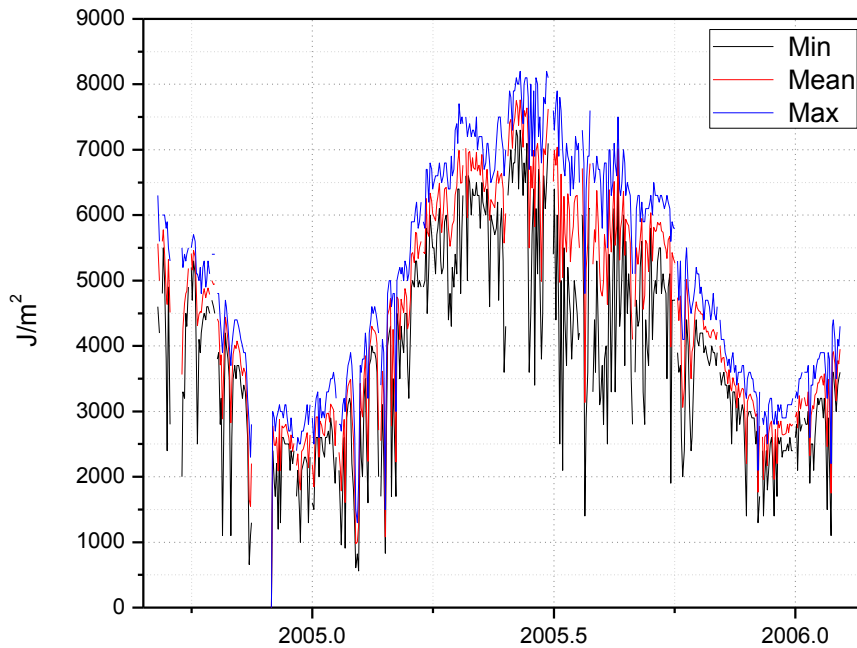


Figura 24. Resultados de la radiación eritematosa UV obtenidas para el Estado de Zacatecas mediante OMI.

En la Figura 24 se presenta los valores, mínimo (negro), promedio (rojo) y máximo (azul) de la dosis eritematosa registrada para el estado de Zacatecas por los instrumentos OMI del satélite AURA de la NASA. El valor anual promedio de la dosis eritematosa es 4500 J/m^2 con una desviación estándar de 1572 J/m^2 . La enorme dispersión refleja que puede haber valores diarios entre 1000 y 8200 J/m^2 . La mediana estadística es del orden 5000 J/m^2 . Pero en los hechos, la enorme dispersión dada por desviación estándar, simplemente refleja que la dosis eritematosa tiene variaciones estacionarias muy pronunciadas; y en efecto son muy diferentes según la época del año. Los valores más bajos corresponden a los meses de noviembre diciembre y enero, y los más altos a los meses de mayo, junio y julio.

Se puede observar también en la Figura 24 una gran dispersión en los valores mínimos diarios (negro), lo que se refleja en una gran dispersión en los valores promedio por día (rojo); sin embargo, los valores máximos (azul) reflejan variaciones estacionarias regulares con muy poca dispersión. La amplitud de las variaciones estacionarias es del orden de 5000 J/m^2 , lo que representa un 62.5% respecto a los valores máximos, los cuales se presentan en junio.

La Figura 25 muestra los valores de la dosis eritematosa registrados por los instrumentos OMI para la parcela en la que está comprendida la ciudad de Zacatecas. Como se puede ver, para una misma parcela existe una gran dispersión los meses de junio julio y agosto; los meses que se registra una enorme dispersión en todo el estado. El valor anual promedio de la dosis eritematosa es 4515 J/m^2 , con una desviación estándar de 1672 J/m^2 , es decir similar a la de todo el Estado.

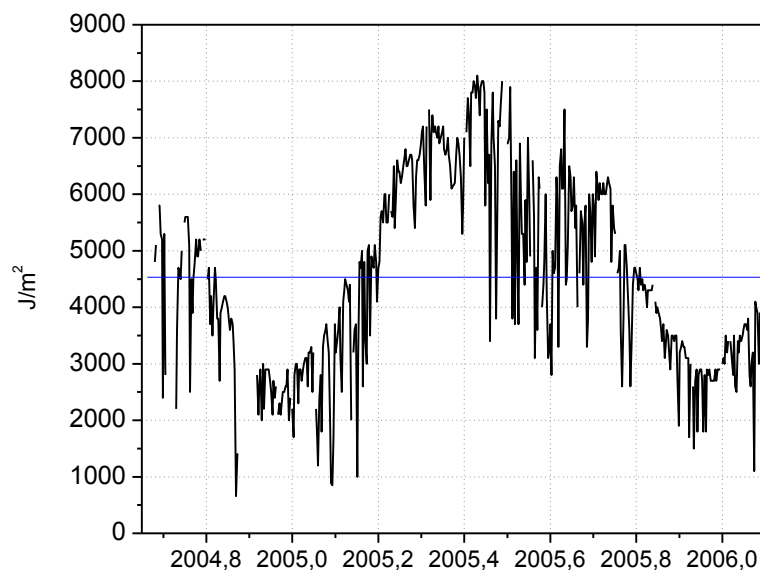


Figura 25. Radiación eritematosa UV de la parcela en la que se ubica la Ciudad de Zacatecas.

La dispersión indica que los valores de dosis eritematosa no son iguales de un día a otro, ni en todo el estado. La mayor dispersión se observa los meses de junio, julio y agosto, que corresponden con la época de lluvias y seguramente son consecuencia de la presencia de nubes en una buena parte del estado, las cuales deben retrodispersar hacia el espacio una parte importante de la radiación UV.

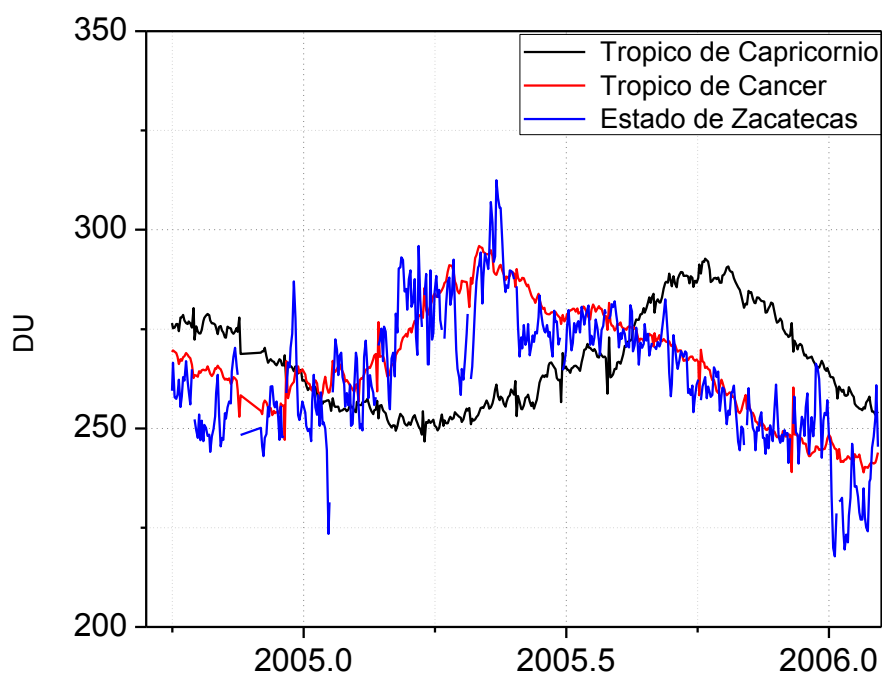


Figura 26. Resultados de la CTO diarios para el Estado de Zacatecas obtenidos mediante OMI.

Mientras que en la Figura 26 se presenta la Columna total de Ozono sobre el Estado de Zacatecas, y su comparación con los correspondientes valores en los trópicos de Cáncer y Capricornio. La figura refleja que la CTO sobre el Estado de Zacatecas, simplemente es típica del Trópico de Cáncer; aunque con una mayor dispersión. La dispersión se puede deber tanto al hecho de que el promedio para el Estado se calculó a partir máximo de 8 valores -correspondientes a 8 celdas

que cubren la superficie del Estado- como al hecho de que el Estado está repartido por encima y por debajo del trópico de Cáncer. Hay que señalar que para el caso del valor promedio de la CTO sobre el Trópico de Cáncer se tomaron 360 valores.

Por otro lado, la figura muestra que el máximo de la CTO se tiene en abril; a diferencia de la dosis eritematosas cuyo máximo se tiene en junio. La amplitud de las variaciones estacionarias de la CTO sobre el Estado de Zacatecas es del orden de 50 DU, lo que representa un 16.6% respecto a los valores máximos, los cuales se presentan en junio.

En una primera impresión, podría pensarse que la época del año en que se está mayormente protegido de la radiación UV son los meses en los cuales se tiene una CTO más grande; y viceversa, que en la época del año en la que hay más riesgo de efectos debido a la radiación UV, son los meses en los que la CTO es más pequeña, que son los meses de noviembre y diciembre. Pero no es así, los mayores niveles de radiación UV o de dosis eritematosa se tienen los meses de mayo, junio y julio.

Esta es una situación controversial; pareciera que la capa de Ozono pasa a un segundo plano, es decir, que la CTO no tiene una importancia primordial en la atenuación de radiación UV.

Las gráficas anteriores son elocuentes. La CTO debe ser importante, pero dado que sus variaciones interanuales tienen una amplitud de 50 DU, lo que representa un 16.6%, respecto al valor máximo; mientras que la amplitud de las variaciones interanuales de la dosis eritematosa, es del orden de 5000 J/m², lo que representa un 62.5% respecto a los valores máximos, se debe interpretar que hay otros factores, aparte de la CTO que influyen en determinar la Dosis Eritematosa. Uno de ellos puede ser las horas en las cuales se tiene luz del día. En las de la Figura 27 se puede observar que mientras que en diciembre se tienen del orden de 10

horas de luz del día, en junio se tienen 13 con luz del día. Es decir, en verano se tiene 30% más de horas-Sol que en invierno.

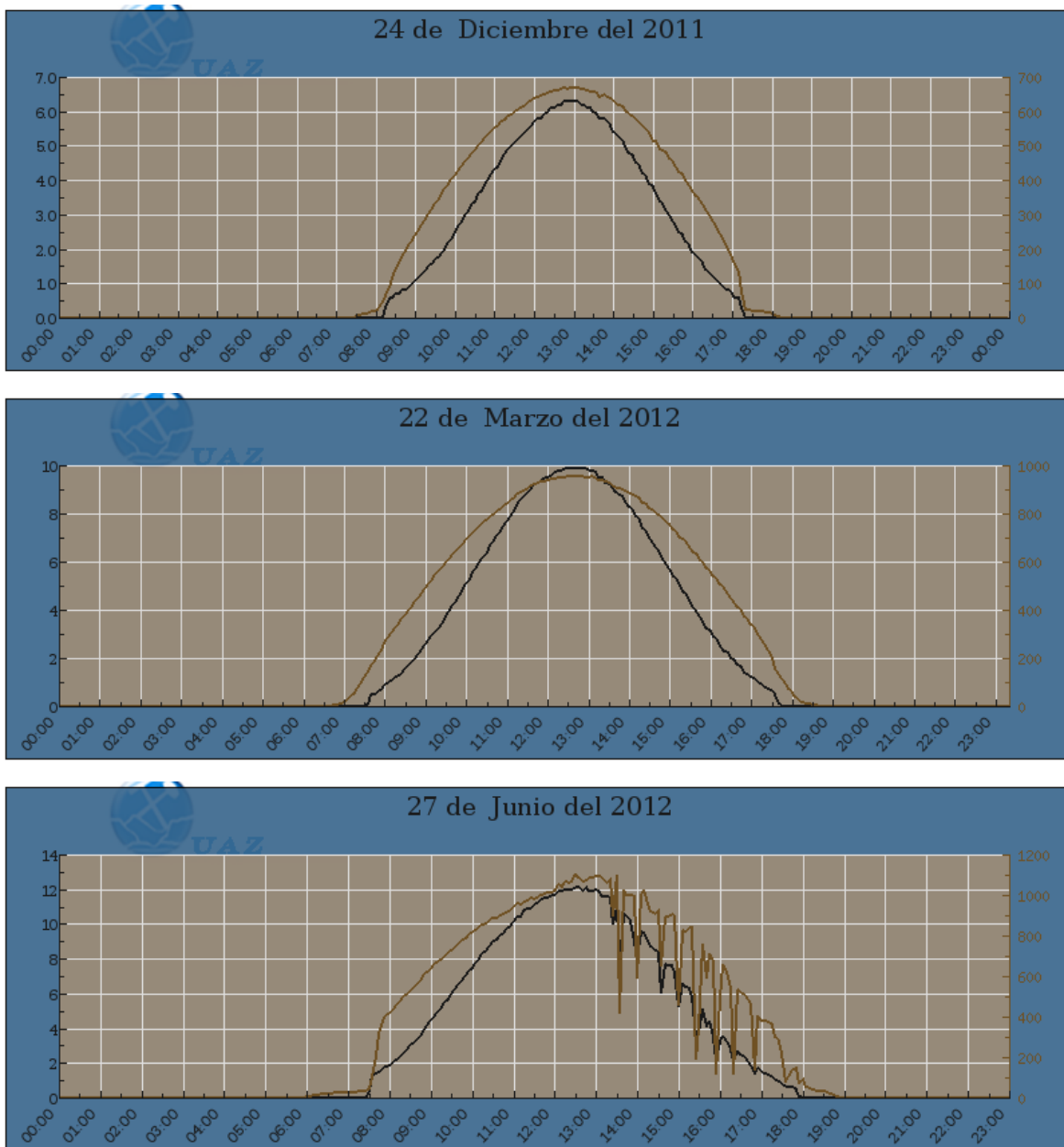


Figura 27. Índice UV (ordenada izquierda) y Radiación Global en diferentes épocas del año registradas por la estación de Ciencias de la Tierra, UAZ durante el 2006.

Otro factor que debe de influir es el ángulo de incidencia de la radiación solar. Mientras que en diciembre plano que describe el ángulo cenital de incidencia de la radiación solar es de 23° en junio es de 0° .

Cuando el ángulo cenital de incidencia es 23° la atenuación de la radiación debe ser mayor, por lo tanto, debe llegar menos radiación UV a la superficie de la Tierra.

La importancia de del ángulo de incidencia radica en que la radiación que incide tiene dos componentes una paralela a la superficie de la Tierra y la otra perpendicular. Esta última es la que se absorbe en mayor proporción sobre la superficie en la Tierra.

Ambos factores Horas-Sol y ángulo de incidencia de la radiación son determinantes de la intensidad de la radiación global; pero indudablemente la composición de la atmosfera y en particular la nubosidad y presencia de aerosoles debe de influir notablemente en atenuar la intensidad. Durante los trabajos de esta tesis no fue posible determinar esos factores.

V CONCLUSIONES

Haciendo uso de los archivos diarios de la Radiación Eritemal UV y la Columna Total de Ozono del 1 de Octubre del 2004 al 31 de Diciembre del 2006, gestionados a partir de la plataforma de la NASA, reportados por los instrumentos OMI del satélite AURA, sin considerar la integridad de los archivos, se propuso una metodología para analizar el comportamiento de la Radiación Eritemal UV y su relación con la Columna Total de Ozono en el Estado de Zacatecas a lo largo de los años registrados. Presentando así los valores mínimo, promedio y máximo para la dosis eritematosa registrada. Obteniendo el valor anual promedio de la dosis Eritemal 4500 J/m^2 con una desviación estándar de 1572 J/m^2 . De igual manera se refleja una dispersión de entre 1000 y 8200 J/m^2 , que refleja variaciones estacionarias pronunciadas, dependientes de la época del año, se obtienen los valores más bajos para los meses correspondientes a la estación de invierno, y los valores más altos para la estación de verano. La amplitud de las variaciones estacionarias es del orden de 5000 J/m^2 , lo que representa un 62.5% respecto a los valores máximos, los cuales se presentan en junio.

Mientras que, para la Columna total de Ozono sobre el Estado de Zacatecas, se obtuvieron valores típicos del Trópico de Cáncer, aunque se refleja una dispersión, debido a la toma de datos correspondientes solo a las 8 parcelas que componen el mayor territorio. Teniendo el máximo en abril con un valor de 215 UD, con una amplitud de variación estacionaria del orden de 50UD. Teniendo en cuenta estos datos obtenidos se puede decir que se tiene una mayor exposición a la Radiación Eritemal UV en los meses de mayo, junio y julio. Se consideran como factores de importancia en la variación de la Radiación Eritemal UV la Columna Total de Ozono, las horas en las cuales se tiene luz solar y el ángulo de incidencia de la radiación en la superficie terrestre.

El método de cálculo utilizado, que implica la utilización de las mediciones diarias de OMI, para la Radiación Eritemal UV y la Columna Total de Ozono arrastra errores en las mediciones, por problemas satelitales. Sin embargo, se debe de considerar el área correspondiente al cuadrículado del Estado que se tomó para las mediciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-MOSTAFA, Z. A., ELMINIR, H. K., ABULWFA, A., AL-SHEHRI, S. M., ALSHEHRI, F. A., AL-ROUGY, I. M. & BAZYAD, A. A. 2015. Evaluation of Erythemat ultraviolet solar radiation over Saudi Arabia. *Solar Energy*, 113, 258-271.
- ALBERS, J. R. & NATHAN, T. R. 2013. Ozone Loss and Recovery and the Preconditioning of Upward-Propagating Planetary Wave Activity. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 70, 3977-3994.
- BAIS, A. F., MCKENZIE, R. L., BERNHARD, G., AUCAMP, P. J., ILYAS, M., MADRONICH, S. & TOURPALI, K. 2015. Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 14, 19-52.
- DE LA CASINIÈRE, A., Le rayonnement solaire dans l'environnement terrestre, Publibook, Paris 2013.
- DE LA CRUZ, F. A. 2003. El origen de la vida en la Tierra. *Llull: Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 26, 11-34.
- DOBNIG, H., PILZ, S., SCHARNAGL, H. & ET AL. 2008. Independent association of low serum 25-hydroxyvitamin d and 1,25-dihydroxyvitamin d levels with all-cause and cardiovascular mortality. *Archives of Internal Medicine*, 168, 1340-1349.
- FLEIG, A. J., KLENK, K., BHARTIA, P. & GORDON, D. 1982. User's guide for the Total-Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) instrument first year ozone T data set.
- FRÍAS, J. M. 2013. Fundamentos conceptuales y didácticos: El origen de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21, 139-145.
- GOIHMAN-YAHR, M. 1996. Skin aging and photoaging: An outlook. *Clinics in Dermatology*, 14, 153-160.
- HILTON, W. F. & SALA, R. L. 1967. *Satélites artificiales*, Labor.
- HORINOUCI, T. 1993. Kelvin wave activity and the quasi-biennial oscillation in the equatorial lower stratosphere. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 71, 175-182.
- KROON, M., PETROPAVLOVSKIKH, I., SHETTER, R., HALL, S., ULLMANN, K., VEEFKIND, J., MCPETERS, R., BROWELL, E. & LEVELT, P. 2008. OMI total ozone column validation with Aura- AVE CAFS observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)*, 113.
- LIMA-BESSA, K. M. & MENCK, C. F. M. 2005. Skin Cancer: Lights on Genome Lesions. *Current Biology*, 15, R58-R61.
- MCPETERS, R. D., KRUEGER, A. J., BHARTIA, P., HERMAN, J. R., OAKS, A., AHMAD, Z., CEBULA, R. P., SCHLESINGER, B. M., SWISSLER, T. & TAYLOR, S. L. 1993. Nimbus-7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) data products user's guide.
- MOLINA, M. J. & ROWLAND, F. S. 1974. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone. *Nature*, 249, 810-12.
- PINEDO VEGA, J. L., RIOS MARTINEZ, C., MIRELES GARCIA, F., GARCÍA SALDÍVAR, V., DAVILA RANGEL, J. I. & SALAZAR ROMAN, A. R. 2014. Trend of total column ozone over Mexico from TOMS and OMI data (1978-2013). *Atmósfera*, 27, 251-260.
- PLOMAN, E. W. 1985. *Satélites de comunicación: inicio de una nueva era*, Gustavo Gili.

- RUBIN, M. B. 2001. The history of ozone: the Schönbein period, 1839–1868. *Bull. Hist. Chem*, 26, 40-56.
- TANSKANEN, A., KROTKOV, N. A., HERMAN, J. R. & AROLA, A. 2006. Surface ultraviolet irradiance from OMI. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 44, 1267-1271.
- GUEYMARD C.A. 2004, The sun's total and spectral irradiance for solar energy applications and solar radiation models, *Solar Energy, Volume 76, Issue 4*. Pages 423–453.
- WCS (Worldwide cancer statistics), Cancer Research UK, <http://www.cancerresearchuk.org/health-profesional/cancer-statistics/worldwide-cancer#heading-Three>
- ALBERS & NATHAN. Australian Bureau of Statistics, Causes of Death, Australia, 2016, <http://www.abs.gov.au/ausstats/abs@.nsf/Lookup/by%20Subject/3303.0~2016~Main%20Features~Australia's%20leading%20causes%20of%20death,%202016~3>

ANEXOS

Anexo 1. Curriculum vitae

Datos Personales

Nombre: María de los Ángeles Lizeth Solís Jiménez
Fecha de nacimiento: 01 de Mayo de 1994
Lugar de nacimiento: Fresnillo, Zacatecas, México
Estado civil: Soltera
Dirección Personal: Calle 30 de julio #202 col. La Joya
Teléfono Particular: 493-136-75-24
Correo Electrónico: angel.solis0594@gmail.com



Formación Académica

Estudiante de la Maestría en Ciencias Nucleares en la Unidad Académica de Estudios Nucleares en la Universidad Autónoma de Zacatecas
Titulada en Ingeniero en Energía de la Universidad Politécnica de Zacatecas.

Reconocimientos y Premios:

2015 Colaboradora en el Rally Científico de COZCYT.
2015 Organizadora en la 1ra Expo Feria de la Ciencia 2015 de Fresnillo Zac.
2014 Ponente en el 1er Congreso Interinstitucional de Jóvenes Investigadores, Acapulco, Guerrero
2014 Primer lugar en el 2do congreso de Jóvenes Investigadores de Zacatecas.
2013 Conferencias sobre energía solar.

Otros idiomas:

Inglés; 450 Puntos en TOEFL.
Egresada del Centro de Idiomas con nivel B2+, Certificada.

Conocimientos y Habilidades:

Conocimientos sobre ciencias nucleares.
Construcción y diseño de colectores solares de placa plana.
Construcción, diseño e innovación de un biodigestor.
Organización de eventos científicos.

Informática:

- Microsoft Office: Word, Power Point, Excel.
- Solidwork
- AutoCad
- MatLab
- Pascal