



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
Energía – Energía y medio ambiente

MODELO DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA PARA LA REPÚBLICA MEXICANA Y  
APLICACIONES

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
DOCTORA EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
LOURDES ANGÉLICA QUIÑONES JUÁREZ

TUTOR PRINCIPAL  
RAFAEL ALMANZA SALGADO INSTITUTO DE INGENIERÍA  
COMITÉ TUTOR  
DAVID MORILLÓN GALVEZ, INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM  
VICTOR RODRIGUEZ PADILLA, FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM  
ROMÁN ALVAREZ BÉJAR, IMAS  
IVÁN MARTINEZ CIENFUEGOS, UAMEX

Ciudad Universitaria CDMX enero 2020



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Para y por Sofía mi niña del Sol*



### ***Agradecimientos***

Gracias a mi compañero de vida Rodrigo Figueroa, sin tu apoyo nada de esto hubiera sido posible. Te amo cariño.

Gracias mi Sofí, tú me motivas a seguirme superando, te amo mi niña

Gracias a mis papis, gracias por todo su apoyo, son los pilares de mi vida. Gracias por su cariño y enseñanzas de vida. Los amos

Gracias al Dr. Rafael Almanza por su invaluable apoyo y orientación. De nuevo gracias por estar siempre pendiente y ayudarme a cerrar este ciclo.

Gracias Hermana por tu motivación. Te amo

### ***Agradezco***

Al Instituto de Ingeniería y a toda su comunidad haberme abierto sus puertas para el desarrollo de este proyecto.

A la UNAM y en especial al posgrado de Ingeniería por permitirme continuar desarrollándome profesionalmente y apoyar con equipo para este proyecto

Al CONACyT por la beca otorgada

Al Dr. José Alberto Escobar por el apoyo con el financiamiento para la construcción de la cámara de envejecimiento

Al Ing. Rodolfo Peters Lamel por sus asesorías técnicas y siempre acompañadas de una sustantiva plática. ¡Gracias Ing. Peters!

A Ponciano Trinidad por su asesoría técnica

A mis alumnos Alejandro Bravo Lugo, Martín Pérez Tischaremos, Manuel Novas Santamaría y Gustavo Manterola; gracias por formar parte de este equipo de trabajo.

Al Dr. Román Álvarez por el apoyo con el espectro radiómetro

Al Dr. Arturo Reinking por todos sus consejos y apoyo en este proyecto

A cada uno de los sinodales por su tiempo y oportunos comentarios. Gracias

## Índice

Introducción y Objetivos .....	5
Fundamentos Teóricos .....	7
Conceptos generales .....	7
Comportamiento de la Radiación Solar a su paso por la atmósfera terrestre.....	10
Leyes de la Radiación de un cuerpo negro.....	14
La influencia de la órbita terrestre sobre el Sol y la Insolación Solar.....	17
Geometría Orbital. ....	17
La constante solar y el espectro solar. ....	21
Radiación Ultravioleta .....	22
Características de la radiación Ultravioleta.....	22
Factores que influyen en los niveles de radiación UV.....	23
La capa de ozono.....	23
La elevación Solar.....	23
La Atenuación de la radiación solar.....	24
Dependencia de la radiación UV con la nubosidad.....	25
Albedo. ....	26
Dependencia con la Altitud. ....	27
Cuantificación de la Energía de Radiación Solar.....	28
Definición de las unidades radiométricas básicas.....	30
Posibles daños a la salud debidos a la Radiación UV. ....	32
Radiación UV-A.....	32
Radiación UV-B.....	33
Radiación UV-C.....	33
Exposición humana.....	33
Daño a la piel debido a la Radiación ultravioleta (Eritema) .....	34
Acción espectral y Eritema cutáneo. ....	35
Situación de Cáncer de Piel en México.....	36
Medición de la Radiación UV.....	37
Sensores termoelectrónicos.....	37
Sensores fotovoltaicos. ....	37
Sensores para el registro de la radiación Ultravioleta. ....	38
Estación Radiométrica del Instituto de Ingeniería .....	38
Estación Meteorológica.....	38
Piranómetro de Banda Giratoria .....	39

Radiómetro EPPLEY .....	41
Instalación. ....	42
Validación y control de calidad de los datos de radiación. ....	43
Modelo de Radiación Ultravioleta para la República a partir del Modelo de Reddy e imágenes satelitales para irradiación directa normal en la República Mexicana. ....	45
Integración de la Percepción Remota y los sistemas de información geográfica .....	45
La geo tecnología Espacial y los SIG .....	46
Obtención de Información con Datos satelitales .....	48
Elección imagen satelital .....	48
Elección de la imagen siguiendo la Resolución Espacial. ....	49
Elección de la imagen siguiendo la Resolución Espectral.....	50
Vegetación.....	50
Suelos .....	51
Agua.....	52
Nieve.....	52
Procesamiento imágenes Satelitales.....	53
Análisis imagen LanSat7 .....	53
Interpretación de Resultados Estadísticos .....	54
Georreferenciación de las imágenes LanSat. ....	55
Resultados Obtenidos .....	56
Análisis del Incremento de la Radiación UV con la altitud .....	65
La Malinche Tlaxcala y Puebla .....	65
Diseño de un mapa interactivo de radiación UV, utilizando la plataforma QGIS .....	71
RESUMEN .....	71
Radiación Ultravioleta a partir de radiación global.....	72
Sobre la base de datos .....	72
LA PLATAFORMA QGIS .....	73
Aplicaciones del modelo y medición de la Radiación Ultravioleta en la República Mexicana.....	77
Construcción y operación de la cámara de envejecimiento .....	80
Conclusiones Generales .....	85
Anexo1.....	87
Manual para uso del programa de Radiación Instituto de Ingeniería.....	87
Manual de usuario Software Modelo Radiación UV .....	89
Anexo 2.....	100
Manual de Operación Radiómetro UV .....	100
(Guía del Usuario).....	100

ANEXO 3 .....	108
Construcción y operación de la cámara de envejecimiento .....	108
Selección de lámparas .....	108
Caracterización de lámparas por espectrorradiometría. ....	109
Montaje .....	111
Artículo publicado .....	121
REFERENCIAS .....	128





## Introducción y Objetivos

La Radiación Solar contiene una cantidad considerable de radiación ultravioleta, de la cual la longitud de onda menor a 315 [nm] es considerada la parte más peligrosa para la vida en la Tierra. El rango entre 280 y 315nm es denominada como radiación UV-B. La capa de ozono estratosférica actúa como un filtro reduciendo considerablemente la cantidad de radiación UV-B que incide sobre la superficie terrestre y además absorbe la UV-C. Aunque esta cantidad de energía sea pequeña es suficiente para causar transformaciones biológicas irreversibles en las moléculas de los seres vivos, principalmente en el ADN, que es la base del código genético de los seres vivos. Es importante mencionar que la radiación UV que incide sobre la superficie terrestre, no solo está determinada por la variación de la columna de ozono, también tiene influencia sobre ésta los aerosoles, las nubes, el albedo, entre otras variables atmosféricas. [Seildlitz Harald, "Solar Radiation at the earth's surface", Sun Protection in Man, Hader Jori Editors, 2001].

La Radiación Ultravioleta (UV) que incide sobre los organismos vivientes, juega un papel fundamental en la existencia de los seres vivos. La componente de radiación UV, contribuye con relativamente poca energía con respecto a todo el espectro solar, esta cantidad de energía representa sólo un 8.3% respecto del espectro solar extraterrestre (Stamnes, 1993) y un 5% de la radiación que llega a la superficie de la Tierra. La radiación ultravioleta tiene un papel muy importante en varios procesos de la biosfera ya que, es biológicamente muy activa: por lo tanto, en la exposición a este tipo de radiación se tiene que tomar en cuenta, que tanto se pueden producir efectos benéficos, así como procesos negativos.

Para el caso de los seres vivos, si la exposición a la radiación ultravioleta es elevada se tendrá como consecuencia una ineficiencia en los mecanismos de autoprotección, lo que tendrá como consecuencia que esos organismos resulten gravemente dañados.

Para los seres humanos una sobre exposición a la radiación ultravioleta ocasionará problemas de salud como inmunosupresión, cáncer de piel, envejecimiento prematuro y cataratas por mencionar algunos. En el caso de México las enfermedades más comunes debido a una exposición prolongada a la radiación UV se encuentran el melanoma (cáncer en la piel) y las cataratas. La incidencia de melanoma se ha ido incrementando en prácticamente todo el mundo. Entre los tumores de piel, el melanoma cutáneo representa el 7.9% en México y de acuerdo a las estadísticas, esta enfermedad ha aumentado un 500% en los últimos años. Las cataratas son un problema de salud pública en nuestro país, ya que se estima que un millón 600 mil mexicanos podrían tener este mal. Y esta enfermedad es la responsable del 45% de la ceguera del país, y cada año se suman entre 50 y 60 mil nuevos casos, de acuerdo con el programa Nacional de Cirugía de Cataratas de la Secretaría de Salud.

En el ámbito de la construcción los materiales como pinturas, envases, paneles fotovoltaicos, techos, recubrimientos, etc. se verán afectados ya que la radiación UV propiciará que el envejecimiento de dichos materiales sea más rápido.

Así como se han mencionado los puntos peligrosos de la radiación ultravioleta, también es importante señalar los beneficios derivados de esta radiación. En el caso de los seres humanos necesitan exponerse moderadamente a la radiación ultravioleta para que el organismo humano pueda producir la vitamina D, la cual es vital para el fortalecimiento de los huesos y los músculos. Otro aspecto a considerar es que la radiación ultravioleta propicia la degradación de materia orgánica al actuar con un fotocatalizador.

Es importante resaltar tanto los bemoles, así como las ventajas de este tipo de radiación, ya que todos ellos sirven de argumentos para justificar esta investigación.

El presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar un Modelo para determinar la cantidad de Radiación Ultravioleta que incide sobre la República Mexicana, este modelo considero datos de Radiación Global así como el índice de claridad basándose en el Modelo preliminar de Radiación UV para el D.F. [Quiñones A. "Modelo preliminar de Radiación UV para el D.F.", Tesis de Maestría, UNAM, 2012] posteriormente para inferir datos de Radiación UV de diferentes puntos de la República Mexicana se utilizaron datos satelitales, y para alimentar el modelo para considerar el factor del albedo(cantidad de radiación reflejada por el tipo de suelo), se caracterizaron las firmas espectrales de la nieve, arena, asfalto y pastos, otro punto importante de este modelo es que considera la variación de la radiación ultravioleta incidente sobre la superficie terrestre debido a la altitud.

En este trabajo se obtuvieron los valores de irradiancia UV máxima y mínima alcanzados en la República Mexicana a partir de los modelos Quiñones-Almanza (Quiñones A., "Modelo preliminar de Radiación UV para el D.F. " Tesis de Maestría, II-UNAM, México D.F. 2012) y Estrada Cajigal-Almanza (Estrada-Cajigal, Almanza R; "Irradiaciones global, directa y difusa, en superficies horizontales e inclinadas, así como irradiación directa normal, en la República Mexicana" Series II-UNAM, México 2005). Los resultados obtenidos fueron que el valor máximo fue de  $42\text{W/m}^2$  y el mínimo fue de  $8\text{W/m}^2$ , así como se determinó la exposición anual de Radiación Ultravioleta para diferentes puntos de la República Mexicana; por ejemplo en la CDMX la exposición anual total de radiación UV está en el orden de  $186.10\text{ KWh/m}^2$

Como aplicaciones de este modelo se desarrollaron los siguientes productos,

Radiómetro UV de bajo costo, Este radiómetro principalmente servirá para que sea instalado en puntos estratégicos de la República Mexicana, en donde los datos medidos con este radiómetro servirán para un futuro proceso de validación de este modelo.

El radiómetro tiene las siguientes características; sensor UV-A (fotodiodo), amplificador operacional (OPA2350), microcontrolador (Arduino uno) y Ethernet Shield (sistema de

comunicación inalámbrica), estas cualidades permiten que el dispositivo tenga conexión inalámbrica y almacenamiento de datos en una computadora. Estas características podrían suponer un costo elevado, pero al compararlo con dispositivos disponibles en el mercado y de manufactura extranjera, el costo final es relativamente bajo. Además, que, es el primer dispositivo de este tipo diseñado en México. A esta última aplicación se le solicitó una patente que está en trámite.

Diseño, desarrollo e implementación de una Cámara de envejecimiento para Pruebas de Envejecimiento debido a Radiación Ultravioleta a paneles fotovoltaicos.

Otro objetivo en el desarrollo de esta tesis fue la degradación de paneles fotovoltaicos por radiación UV. Para tal objetivo se diseñó y construyó un cámara de envejecimiento por medio de radiación UV. Esta cámara toma como base el modelo de Radiación UV diseñado para simular la cantidad de Radiación UV que incidirá sobre la superficie terrestre, principalmente para puntos de interés sobre la República Mexicana.

Este sistema ya se ha utilizado para evaluar sistemas fotovoltaicos desarrollados en México y las conclusiones no han sido muy alentadoras, ya que la eficiencia de los paneles tiene caídas superiores al 25%. Ahora que el mercado FV está creciendo en México se tienen que tomar estas consideraciones para saber cómo se comportaran estos sistemas en condiciones de México y evitar que estos sistemas no generen, lo que se está proyectando en 25 años. Los resultados de estos estudios permitirán abrir líneas de desarrollo para mejora de recubrimientos, punto de oportunidad para la industria Fotovoltaica Mexicana; además que es algo que se tiene que considerar en el diseño de las normas mexicanas.

## Fundamentos Teóricos

### Conceptos generales

La radiación es una forma de energía y nosotros estamos expuestos a ella constantemente, nos damos cuenta de su existencia debido a que nuestros sentidos la perciben principalmente en forma de calor [1].

La luz visible es solo una derivación del espectro solar, el hecho de que los humanos no podamos ver otros tipos de energía, no quiere decir que estas no existan, entre las formas de energía electromagnética se encuentran las ondas de radio, la radiación infrarroja, la radiación ultravioleta o los rayos X entre las más comunes.

Estas formas de energía se comportan siguiendo el principio de la teoría ondulatoria, que no es más que la energía viajando a lo largo de una trayectoria sinusoidal con una velocidad enorme como es la de la luz.

$$v\lambda = c \dots (1.1)$$

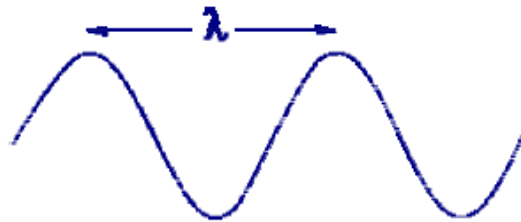


Figura 1 Comportamiento ondulatorio de la radiación electromagnética

En donde

***C= velocidad de la luz,  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$***

***v= frecuencia [Hz]***

***λ = longitud de onda***

El espectro de la radiación electromagnética se puede tomar como una larga cuerda, continua y de acuerdo al nivel energético va cambiando su comportamiento debido a su energía. Para fines prácticos la longitud de onda dentro de la radiación ultravioleta por lo regular será medida en nanómetros (*nm*), pero es importante mencionar que ésta también puede estar expresada en Angstroms ( $\text{Å}$ ) o en micrómetros ( $\mu\text{m}$ ).

La conversión es la siguiente:

$$1 \text{ nm} = 10 \text{ Å} = 10^{-9} \text{ metros}$$

Para el estudio de la radiación electromagnética es importante no pasar por alto su naturaleza corpuscular descrita por la teoría cuántica, esta teoría se refiere que esa trayectoria sinusoidal es seguida por cientos de partículas muy pequeñas conocidas como cuantos o fotones.

De acuerdo a esta teoría la energía de cada fotón está dada en julios y la ecuación que lo describe es la siguiente:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \dots \dots \dots (1.2)$$

En donde

***h*; es la constante de planck = 6.6260×10<sup>-34</sup>J · s = 6.6260×10<sup>-27</sup> ergs · s.**

Otra expresión que nos da la cantidad de energía de los fotones es la siguiente:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = kT \dots \dots \dots (1.3)$$

En donde

***k*, constante de Boltzman = 1.3806×10<sup>-23</sup>J · K**

Se puede concluir de estas ecuaciones que la energía de un fotón es inversamente proporcional a la longitud de onda; esto es, a una mayor longitud de onda menor será la cantidad de energía que tenga el fotón.

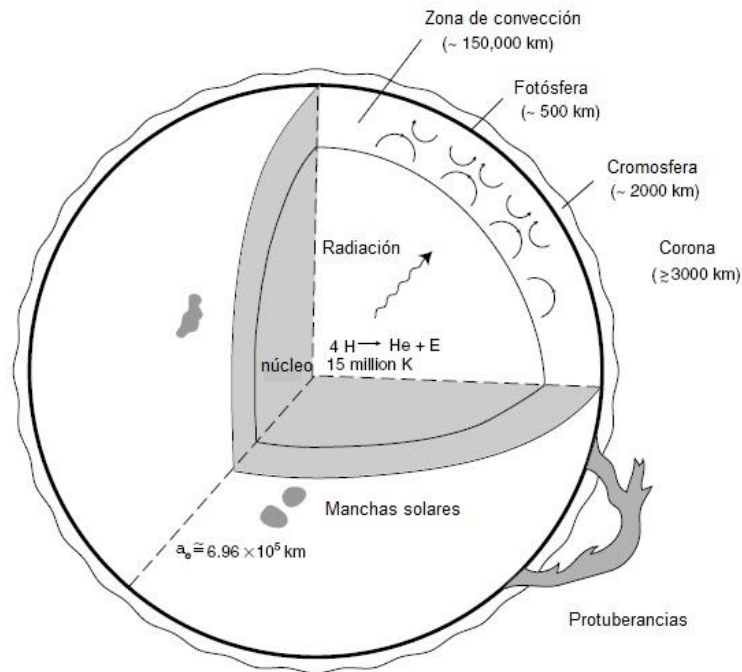
*Comportamiento de la Radiación Solar a su paso por la atmósfera terrestre.*

Para la tierra, el disco solar está subdireccionado en promedio con un ángulo sólido de alrededor 0.5°. Sin embargo, la excentricidad elíptica de la órbita terrestre (0.0167), la distancia de la tierra al Sol varia a lo largo del año en  $\pm 1.7\%$ , esto propicia que la intensidad de la radiación terrestre en la superficie de la atmósfera varia alrededor de  $\pm 3.4\%$ . El Sol actual como una fuente quasi puntual, iluminando la tierra con rayos muy paralelos, estos rayos casi colimados son la radiación directa extraterrestrial o radiación extraterrestrial y en ingles también se denota como ETR.

Existe una distancia promedio de  $1.5 \times 10^8 \text{ km}$  entre la Tierra y el Sol, virtualmente toda la energía que la tierra recibe y pasa por la atmosfera y los océanos provienen del Sol.

El Sol es una esfera gaseosa con un radio de  $6.96 \times 10^5 \text{ km}$  y una masa aproximadamente de  $1.99 \times 10^{30} \text{ Kg}$ . Los principales ingredientes que conforma al Sol son el Hidrógeno (H) y el Helio (He), además también lo conforman otros elementos como el Oxígeno (O), Carbono (C), Nitrógeno (N), Neón (Ne), Hierro (Fe), Silicio (Si), Magnesio (Mg), Sulfuro (S) y Calcio (Ca). El hidrógeno crece aproximadamente un 90% de la masa y para el caso del helio un 10%. La temperatura del Sol decrece ya que tiene una temperatura en el centro de alrededor  $5 \times 10^6 \text{ K}$ , mientras que en la superficie es de 5800 K.

Fuente	Energía ( $\text{W m}^{-2}$ )	Cambio en el ciclo Solar ( $\text{W m}^{-2}$ )	Depósito Terrestre Altitud
<b>Radiación Solar</b>			
Irradiancia total	1366	1.3	Superficie, troposfera
UV 2000-3000 Å	15.4	0.16	0-50 km
UV 0-2000 Å	0.1	0.02	50-500 km
<b>Partículas</b>			
Protones solares	0.002		30-90 km
Rayos cósmicos	0.000007		0-90 km
Viento Solar	0.0003		Sobre, 500 km



**Figura 2. Ilustración de un corte transversal del Sol representando su atmósfera. El interior del Sol incluye el núcleo con una temperatura de alrededor  $1.5 \times 10^7$  K. La atmósfera solar está conformada por la fotosfera, la cromosfera y la corona.**

La región en la cual existen grandes cambios en los gases es conocida como zona de convección (Fig 2), la cual tiene un espesor de 150,000 km hacia la superficie del Sol. Bajo este espesor, se piensa que la energía del Sol es transportada en forma de energía electromagnética; por ejemplo, un flujo de fotones. Sin embargo, cerca de la superficie debido al bloqueo de la energía radiante por medio de la absorción de los elementos pesados que conforman esta capa, la energía es transferida parte por convección y otra parte por radiación electromagnética. Sobre la superficie, la energía es transportada otra vez por radiación electromagnética.

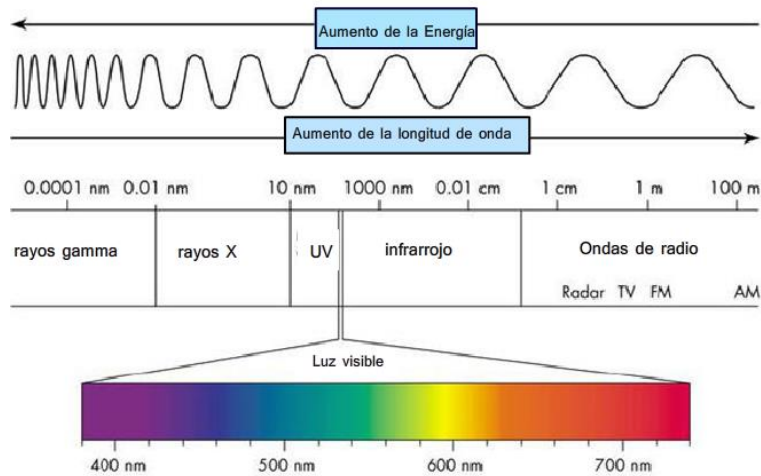
El Sol provee tanto de energía electromagnética, así como de energía de plasma a la tierra como se resume en la tabla 1. Es claro que la radiación electromagnética se caracteriza por longitudes de onda que van desde los rayos gamma hasta las ondas de radio (ver Fig. 3). La radiación electromagnética es la mayor fuente de energía solar hacia la tierra, y tiene mucha importancia en los procesos climáticos de la tierra.

Región	Longitud de onda ( $\mu\text{m}$ )	Frecuencia (GHz)	Número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ )
Rayos gamma	$10^{-5}$	$3 \times 10^{10}$	$10^9$
Rayos X	$10^{-2}$	$3 \times 10^7$	$10^6$
Ultravioleta	$3 \times 10^{-1}$	$10^6$	$0.33 \times 10^5$
Visible			
Infrarrojo	1	$3 \times 10^2$	$10^4$
Microondas	$10^3$		10
	$10^4$ (1cm)	$3 \times 10^1$	1
Spacecraft	$10^6$	$3 \times 10^{-1}$	$10^{-2}$
Television y FM	$10^7$	$3 \times 10^{-2}$	$10^{-3}$
Ondas cortas	$10^8$	$3 \times 10^{-3}$	$10^{-4}$
Ondas de radio AM	$10^9$	$3 \times 10^{-4}$	$10^{-5}$

Violeta .4 $\mu\text{m}$   
 Morado  
 Azul  
 Verde  
 Amarillo  
 Naranja  
 Rojo .7 $\mu\text{m}$

Figura 3. Espectro electromagnético en términos de longitud de onda en  $\mu\text{m}$ , frecuencia en GHz y número de onda en  $\text{cm}^{-1}$ .





**Figura 4. División del Espectro electromagnético, de acuerdo a su nivel de energía y a su longitud de onda**

Como podemos observar en la figura 4, la región que es captada por nuestro sistema ocular es mínima a comparación de toda la capacidad del espectro electromagnético; esta abarca de los 400 nm a los 700 nm, la radiación ultravioleta está comprendida de los 10 nm a los 400 nm. Por conveniencia o referencia, se tomará la división espectral realizada por Joint Committee para Espectroscopia Aplicada [6], que se ilustra en la tabla 1.

Región	Longitud de onda (nm)
Ultravioleta lejano	10-200
Ultravioleta cercano	200-380
Visible	380-780
Infrarrojo cercano	780-3000
Infrarrojo medio	3000-30,000
Infrarrojo lejano	30,000-300,000
Microondas	300,000-1,000,000,000

**Tabla 1. División del espectro electromagnético realizada por \*Joint Committe para la Espectroscopia Aplicada**

### Leyes de la Radiación de un cuerpo negro.

Es básico el estudio de las leyes de radiación de un cuerpo negro debido a que es vital el conocimiento de los procesos de absorción y emisión. Un cuerpo negro es un concepto básico en la física y puede ser visualizado como una cavidad con un pequeño agujero, como se puede observar en la figura 5. En un cuerpo negro la mayoría de flujo de radiación que entra por el agujero es atrapado dentro de la cavidad, independientemente de las características del material de la superficie de la cavidad. Dentro de la cavidad ocurren varias reflexiones internas hasta que todo el flujo que entra por la cavidad es absorbido por sus paredes. La probabilidad de que alguna parte de ese flujo que entra salga por la cavidad es casi nula; por lo tanto, el interior de un cuerpo negro es de un color negro.

El término de cuerpo negro es usado para definir una configuración de materiales, en donde la absorción es completa. La emisión por un cuerpo negro es el contrario de la absorción.

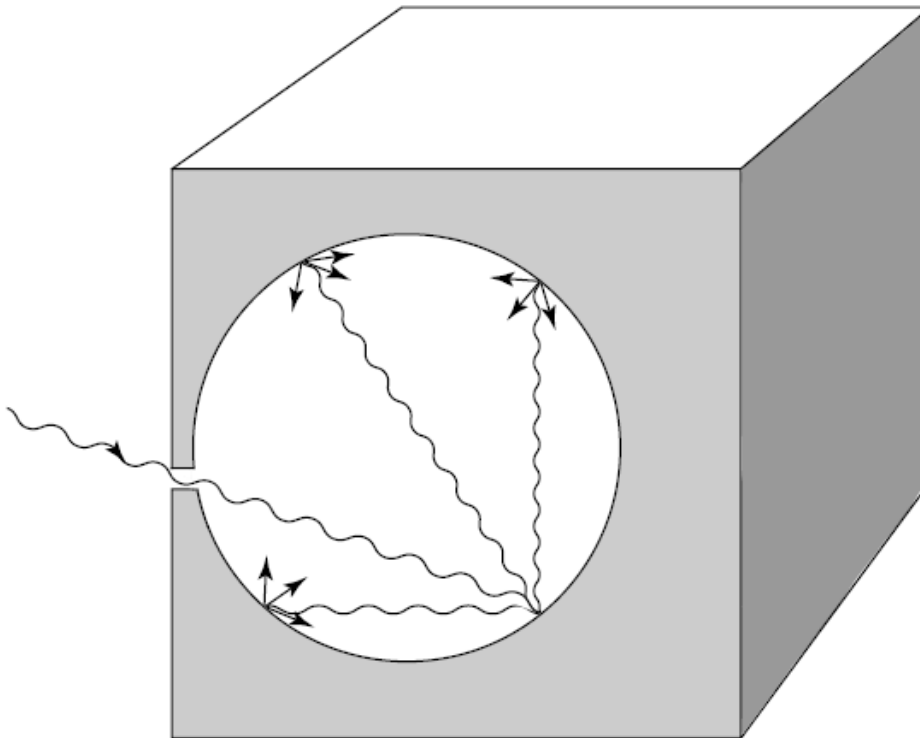


Figura 5. Un cuerpo negro, donde la absorción es completa.

Para entender un poco más sobre el concepto de cuerpo negro, a continuación, se detallan cuatro leyes fundamentales.

**Ley de Planck.** En el año de 1901 Planck comenzó a ocuparse en dar una explicación teórica acerca del comportamiento de la radiación en una cavidad. Planck asumió que los átomos que recubren las paredes de la cavidad producen pequeñas oscilaciones electromagnéticas, cada uno con su respectiva frecuencia de oscilación. EL oscilador emite energía dentro de

la cavidad y absorbe energía para que se produzcan las oscilaciones. Primero, Planck postulo que un oscilador solamente puede tener energía mediante la siguiente expresión:

$$E = nh\tilde{\nu} \dots \dots \dots (1.4)$$

En donde  $\tilde{\nu}$  es la frecuencia de oscilación,  $h$  es la constante de Planck y  $n$  es conocido como número cuántico y solo puede tomar valores enteros. Desarrollos posteriores revelaron que la fórmula correcta para oscilaciones armónicas es la siguiente  $E = \left(n + \frac{1}{2}\right) h\tilde{\nu}$ ; sin embargo, este cambio no introdujo diferencias a la conclusión de Planck. Después Planck postulo que el oscilador no emite energía radiante de forma continua, sino en forma de saltos o en cuantos. Los cuantos de energía son emitidos cuando un oscilador cambia de estado cuántico. Sin embargo, si el número cuántico cambia en una unidad, el resultado de la energía radiante está dado por la siguiente ecuación.

$$\Delta E = \Delta nh\tilde{\nu} = h\tilde{\nu} \dots \dots \dots 1.5$$

Para determinar cuanta energía ha sido emitida se requiere del conocimiento del número total de oscilaciones, así como su frecuencia  $\tilde{\nu}$  para todos los estados posibles de acuerdo con la estadística de Boltzmann. Siguiendo las dos formulaciones de Planck y normalizando sobre el promedio de la energía emitida por oscilación, La función de Planck en unidades de energía/ área/ tiempo/ sr/frecuencia está dada por la siguiente ecuación.

$$B_{\tilde{\nu}}(T) = \frac{2h\tilde{\nu}^3}{c^2(e^{h\tilde{\nu}/kT}-1)} \dots \dots \dots 1.6$$

En donde,  $K$  es la constante de Boltzmann,  $c$  es la velocidad de la luz, y  $T$  es la temperatura absoluta. Las constantes de Planck y Boltzmann fueron determinadas de forma experimental y son  $h = 6.626 \times 10^{-34}$  J·s y  $K = 1.3806 \times 10^{-23}$  J/deg.

La función de Planck relaciona la intensidad monocromática emitida con la frecuencia y temperatura de una sustancia emisora. Por la relación entre frecuencia y longitud de onda y la longitud de onda mostrados en la ecuación 1.6 y la ecuación 1.5 pueden ser escritas como:

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5(e^{hc/\lambda kT}-1)} = \frac{c_1\lambda^{-5}}{\pi(e^{c_2/\lambda T}-1)} \dots \dots \dots 1.7$$

**Ley de Wien.** Al incrementar la temperatura de un cuerpo negro, la cantidad de energía que emite se incrementa. También, al incrementar la temperatura, el máximo de la distribución de energía se desplaza hacia las longitudes de onda más cortas. Se encontró que este desplazamiento obedece a la siguiente relación, llamada ley de desplazamiento de Wien:

$$\lambda_{m\acute{a}x}T = 2897.8(\mu m K) \dots \dots \dots (1.8)$$

Donde  $\lambda_{m\acute{a}x}$  es la longitud de onda que corresponde al máximo de la curva y T es la temperatura absoluta del objeto que emite la radiación.

La ley de Wien, afirma que para la radiación de un cuerpo negro la longitud de onda de máxima emisión es inversamente proporcional a la temperatura absoluta. Con esta ley se demuestra que la emisión de la radiación de la superficie terrestre tiene un máximo en cerca de  $9.9 \mu m$ , que corresponde a la región infrarroja del espectro. También muestra que la temperatura del Sol, si el máximo de emisión de radiación solar ocurre en  $0.474 \mu m$ , es del orden de 6100 K.

**Ley de Kirchhof.** En general un cuerpo puede absorber y reflejar la radiación, y emitir lo que queda de ésta. En términos de la razón de radiación absorbida, reflejada y transmitida con respecto a la intensidad de radiación monocromática  $I_\lambda$  incidente en las capas, se tiene que:

$$1 = \rho_\lambda + \alpha_\lambda + \tau_\lambda \dots \dots \dots (1.9)$$

Cuando se incluyen valores promedio sobre todo el espectro, el subíndice referente a la longitud de onda puede eliminarse. Por otra parte, no se ha de perder de vista que una simplificación común es la consideración de fenómenos superficiales, cuando en la realidad se tienen sistemas volumétricos.

## La influencia de la órbita terrestre sobre el Sol y la Insolación Solar.

### Geometría Orbital.

La tierra es uno de los nueve planetas en el sistema solar. Los cuatro planetas más cercanos al Sol (Mercurio, Venus, Tierra y Marte), son referidos como planetas terrestres y los demás planetas (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, son conocidos como planetas mayores. Todos los planetas giran en torno al Sol en la misma dirección, con la excepción de Urano, y todos también rotan en la misma dirección sobre sus propios ejes. Adicionalmente, todas las órbitas planetarias excepto Mercurio se encuentran en el mismo plano.

Una vez cada veinticuatro horas la tierra realiza una rotación constante hacia el este sobre su propio eje. Esta rotación es la que causa los cambios de periodos en la tierra, involucrando la alternancia del día y la noche. Al mismo tiempo el movimiento orbital de la tierra que tiene una masa de  $6 \times 10^{24} \text{ kg}$ , con una elipse con un foco respecto al Sol; con lo cual a la tierra le tomo 365 días aproximadamente para completar toda una vuelta al Sol. La distancia media de la Tierra al Sol,  $r_0$ , define una unidad de longitud denominada unidad astronómica, UA, cuyo valor es :

$$r_0 = 1.495979 \cdot 10^8 \text{ km} = 1UA$$

A lo largo del año, la distancia Tierra-Sol, variará apreciablemente entre un valor mínimo de 0.983 UA, esto es el paso por el punto de la órbita terrestre más próximo al Sol, conocido como Perihelio (aproximadamente el 3 de enero), y un valor máximo de 1.017 UA en el momento conocido como Afelio, y es el punto de la órbita terrestre más alejado del Sol (aproximadamente el 4 de Julio). Todas estas variaciones originarán una oscilación anual de alrededor de  $\pm 3\%$  en la cantidad de radiación solar recibida en la Tierra; la cantidad de radiación solar que llega a la Tierra es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al Sol, por lo tanto es importante determinar precisamente el valor de la distancia Tierra-Sol.

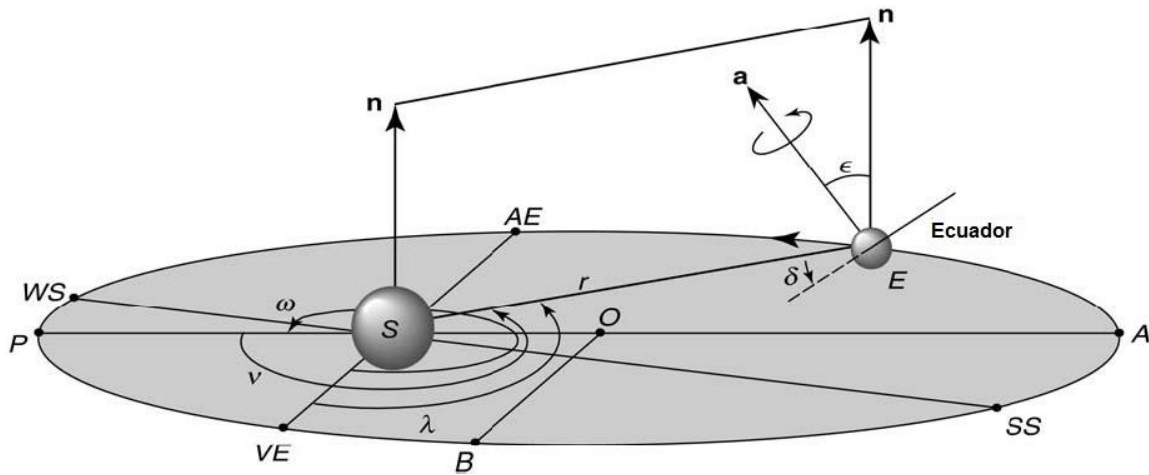


Figura 6. Geometría Tierra-Sol. P denota el Perihelio, A el Afelio, AE el equinoccio de Otoño, VE el equinoccio de Verano, WS el solsticio de invierno y SS el solsticio de verano, n es la normal al plano elíptico, a es paralelo al eje de la tierra,  $\delta$  es la declinación solar,  $\epsilon$  el ángulo oblicuo con respecto al eje de la tierra,  $\omega$  es la longitud del perihelio en relación al equinoccio de verano,  $v$  es la verdadera anomalía de la tierra en cierto periodo de tiempo,  $\lambda$  es la verdadera longitud de la tierra, O es el centro de la elipse, OA(OP=a) el semi eje mayor, OB (=b) el semi eje menor, S es la posición de el Sol, E es la posición de la tierra, y ES (= r) la distancia entre la tierra y el Sol.

Esto da como resultado una variación en la intensidad alrededor de un 7% entre ambas fechas. Lo anterior aunado a la inclinación del eje de rotación de la tierra tiene como resultado un ligero incremento de los niveles de la radiación ultravioleta en el verano del hemisferio sur, mientras que son menores en el verano del hemisferio norte.

Es importante destacar que tanto la cantidad como la calidad de radiación UV recibida por la tierra sufren variaciones con la elevación del Sol sobre el horizonte, lo que se conoce como Altitud Solar (figura 7)

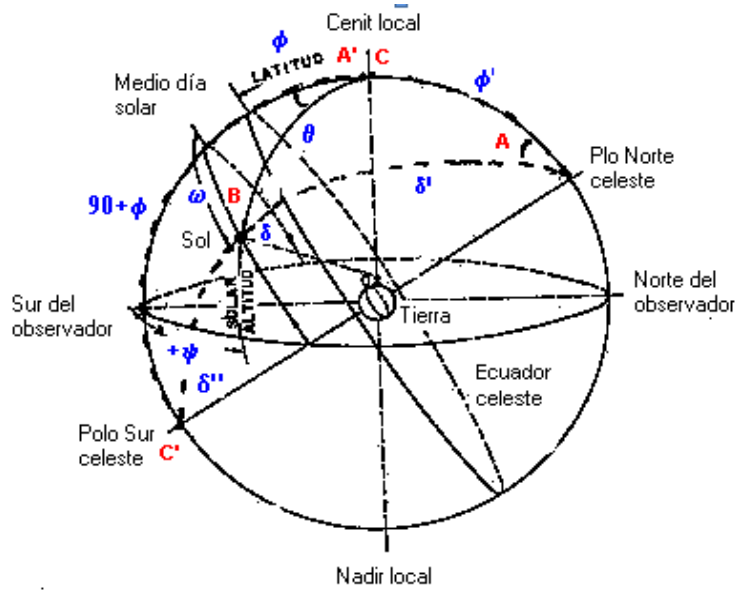


Figura 7. Coordenadas locales y las coordenadas geocéntricas del Sol son origen común en la tierra  
(Apuntes de Solarimetría Múhlia Velazquez A.)

Como se observa en figura 8 el ángulo complementario entre el sol y la vertical es conocido como ángulo cenit. La altitud solar depende de factores como el día del año, la hora y la localización geográfica (latitud y longitud) y su intensidad varía debido a que el ángulo cenit.

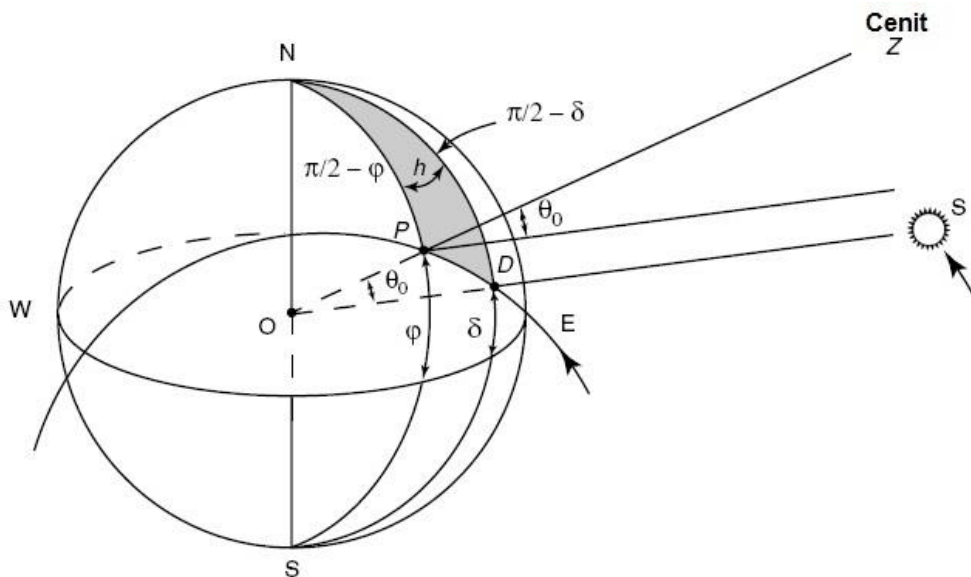


Figura 8. Relación del ángulo cenital  $\theta_0$  con la latitud  $\varphi$ , el ángulo de inclinación  $\delta$ , y el ángulo horario  $h$ . P es el punto de observación y D es el punto directo hacia el Sol.

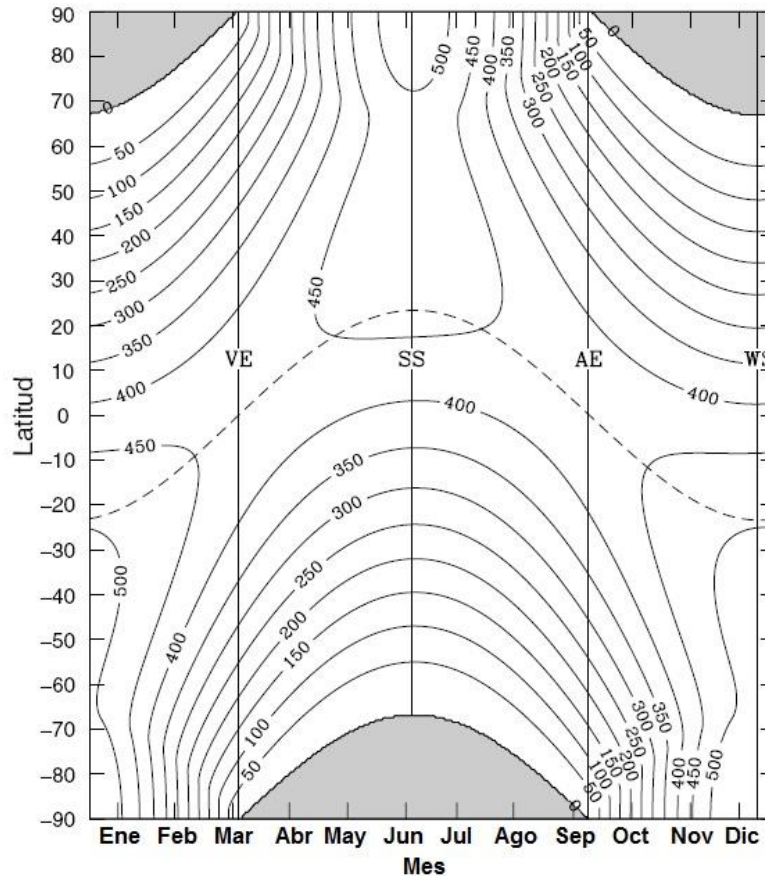


Figura 9. Insolación Diaria

La insolación diaria como se muestra en la figura 9. La distribución de la insolación es independiente a la longitud y es ligeramente asimétrico entre el norte y el hemisferio sur. El Sol está más cerca de la tierra en Enero (invierno en el hemisferio norte), sin embargo, el máximo de radiación solar recibida es mayor en el hemisferio sur que en el hemisferio norte. En el caso de los equinoccios, la insolación solar será máxima en el ecuador y es cero en los polos.



### La constante solar y el espectro solar.

El flujo de energía radiante que el Sol emite en todas las direcciones llega al límite superior de la atmósfera terrestre con un valor prácticamente constante. De esta forma, se define la constante solar,  $I_{SC}$ , como la potencia recibida por unidad de superficie normal a la dirección de propagación de la radiación, a la distancia media del Sol a la Tierra, si bien, en realidad esta distancia no es constante y su valor presenta un intervalo de variación anual próximo al 3%.

La determinación experimental de la constante solar se hizo, en un principio, midiendo la radiación que llega a la superficie terrestre después de atravesar la atmósfera, tras ser parcialmente absorbida y dispersada por los constituyentes atmosféricos. Las extrapolaciones a partir de las medidas terrestres realizadas en alta montaña tenían que basarse en cálculos aproximados de la transmisión atmosférica según las longitudes de onda del espectro solar. En este sentido los primeros estudios se deben a Johnson (1954) que proponía un valor de  $1395 \text{ W/m}^2$ . Posteriormente, medidas realizadas por Abbot condujeron al valor de  $1322 \text{ W/m}^2$ . Actualmente las dos medidas consideradas más precisas de la constante solar han sido realizadas por la NASA, obtenidas en el periodo 1968-1971 desde un avión volando a gran altitud para minimizar los efectos atmosféricos, y por el World Radiation Center (WRC) en Davos (Suiza). Las dos medidas dieron resultados ligeramente diferentes; el valor obtenido por la NASA fue  $1353 \text{ W/m}^2$ , frente al de  $1367 \text{ W/m}^2$  obtenido por el WRC, siendo este segundo valor el más aceptado actualmente.

## Radiación Ultravioleta

### Características de la radiación Ultravioleta

La radiación ultravioleta ocupa una pequeña porción del espectro electromagnético. Ésta comprende de los 400 a los 100 nm, para fines prácticos y para agilizar los estudios se ha realizado una subdivisión del espectro de la radiación ultravioleta, la idea de realizar esta subdivisión nació porque al decrecer su longitud de onda, la radiación UV impacta de manera significativa la biología de los seres vivos [1].

La radiación UV es dividida en tres grupos: radiación Ultravioleta tipo C, Radiación Ultravioleta tipo B y Radiación Ultravioleta tipo A.

De acuerdo al Segundo congreso Internacional sobre Luz realizado en agosto de 1932 la radiación UV fue dividida de la siguiente manera:

Tipo de radiación	Longitud de Onda
UVA	400-315 nm
UVB	315-280 nm
UVC	280-100 nm

Tabla 2. Clasificación de la radiación ultravioleta de acuerdo al segundo congreso de la luz, agosto de 1932

La división de la radiación Ultravioleta dependerá de acuerdo a su aplicación o para lo que se quiera estudiar.

A continuación, se da una descripción de cada división

**Ultravioleta tipo A o Ultravioleta Cercano (400-315 nm):** Esta longitud de onda tiene la característica de tener frontera con la luz visible y llegar hasta longitudes de onda que alcanzan la superficie de la tierra.

**Ultravioleta tipo B o Ultravioleta Medio (315-280 nm):** Ésta se encuentra en el límite de la onda corta que incide en la superficie terrestre y la porción de mayor absorción de oxígeno molecular.

**Ultravioleta tipo C o Ultravioleta lejano (280-100 nm):** Ésta se extiende a partir de la zona de mayor absorción de oxígeno molecular hasta el límite de transmisión de longitudes de onda del fluoruro de litio.

## Factores que influyen en los niveles de radiación UV

El nivel de radiación UV en cierto lugar de la superficie terrestre depende de factores como:

- Posición del Sol.
- La altitud.
- La latitud.
- Nubosidad.
- Cantidad de ozono en la atmósfera.
- Niveles de contaminación.

Los mayores niveles de radiación ultravioleta se presentan cuando el Sol alcanza su elevación máxima, esto es, cuando los rayos están en una posición normal a la superficie expuesta [3].

En zonas diferentes a los trópicos, la máxima radiación ultravioleta se presentará en el verano al medio día.

Las variaciones espaciales y temporales de la irradiancia de la radiación UV en la superficie de la tierra dependen de factores como: la elevación solar, la latitud, la altitud, la capa de ozono y las condiciones atmosféricas locales.

### La capa de ozono.

El ozono que contiene la estratósfera forma una capa alrededor de la tierra protegiendo a la biósfera de la mortal radiación UV proveniente del Sol. El desgaste de la capa estratosférica de ozono ha incrementado la radiación que pasa a la superficie terrestre.

Los informes recientes sugieren que la capa protectora de ozono se está agotando a un ritmo suficiente como para dejar "agujeros" sobre la Antártida, provocando una mayor exposición UV para los habitantes de países como Nueva Zelanda y el sur de Australia. Algunos agujeros de ozono han sido reportados en partes de Europa y América del Norte.

Debido a esto, es importante cuantificar la radiación UV recibida, ya que ésta es capaz de romper algunos tipos de moléculas biológicas, como el DNA (Al-Aruri, 1990).

### La elevación Solar.

El flujo de la radiación Ultravioleta, principalmente el de la radiación del tipo B, depende de la altura solar del Sol. Este factor varía de acuerdo a la estación del año, hora del día y la latitud del lugar, por lo tanto, es de esperarse que en los meses de verano se registren los valores máximos del flujo de la radiación UV recibidas en la superficie terrestre. En los meses de verano los rayos del tipo UVB son de dos a tres veces más intensos en la zona ecuatorial que por ejemplo en el norte de Europa.

### La Atenuación de la radiación solar.

La distribución espectral de la radiación solar en la parte superior de la atmósfera se muestra en la figura 10. Como se observa, existen tres mecanismos de atenuación de la radiación solar durante su viaje a través de la atmósfera: absorción, reflexión y dispersión. Se puede ejemplificar de la manera siguiente: Si tenemos 100 unidades de energía proveniente del Sol que entran a través de la atmósfera, 24 unidades serán reflejadas (20 por las de las nubes y 4 por la tierra), 6 son dispersadas y 19 absorbidas por la atmósfera (25 unidades) y las 51 unidades restantes son absorbidas por la Tierra.

La energía dispersada se conoce como radiación difusa. Aunque muchos gases pueden absorber la radiación, solo las moléculas de aire y las partículas pueden dispersarla; cuando ocurre esto es cuando se puede apreciar el azul intenso del cielo en un día despejado. Las partículas de nubes (gotitas de agua y cristales de hielo), también pueden absorber o dispersar la radiación, produciendo grandes cúmulos grises en el cielo (dependiendo del espesor óptico será la intensidad de la tonalidad de las nubes).

La atenuación de la radiación solar debido a la atmosfera terrestre es causada por diferentes medios de dispersión: moléculas de aire (dispersión de Rayleigh), aerosoles (dispersión de Mie) y medios de absorción como: vapor de agua, algunos otros gases, polvo y nubes. En el caso de las moléculas de aire, la dispersión ocurre principalmente en la longitud de onda que abarca del UV al infrarrojo cercano. La dispersión decrece con la longitud de onda: entre más corta sea la longitud de onda, aumentará el efecto de dispersión.

Aunque la dispersión de la radiación solar por las moléculas de aire es una función continua de la longitud de onda, la absorción de la radiación solar por gases atmosféricos es un proceso selectivo; esto significa que estos gases absorben energía solar en bandas espectrales específicas, y no es igual en todo el espectro solar. Los principales atenuadores de las longitudes de onda corta son: el vapor de agua, el Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), el Ozono ( $\text{O}_3$ ), el Ácido Nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), el Monóxido de Carbono ( $\text{CO}$ ), el Oxígeno ( $\text{O}_2$ ), el Metano ( $\text{CH}_4$ ); y entre los menores atenuadores están el Amoniac( $\text{NH}_3$ ), el Óxido Nítrico( $\text{NO}$ ), el Dióxido de Nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) y el Dióxido Sulfúrico ( $\text{SO}_2$ ).

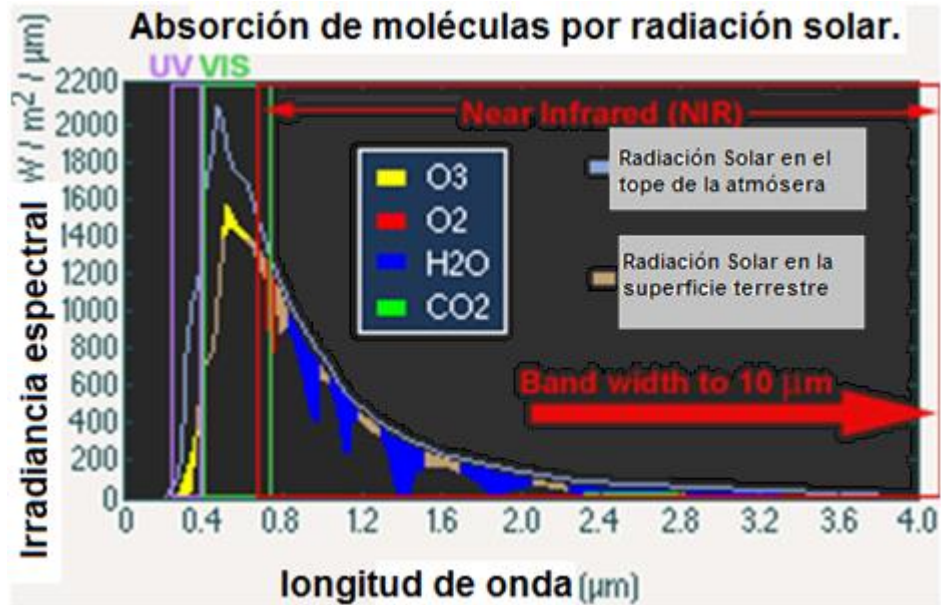


Figura 10. Absorción de la Radiación Solar.

Tal y como se ha visto anteriormente, la atmósfera ejerce una gran influencia sobre la radiación solar, determinando en gran medida la cantidad de radiación que alcanza la superficie terrestre.

Por lo que respecta a la componente ultravioleta, el gas atmosférico con mayor influencia es el ozono que, como se ha citado, se acumula principalmente en la estratosfera, entre 25 y 30 km de altura. No obstante, la atenuación provocada por esta capa se produce, sobre todo en las bandas B y C, en las que la radiación ultravioleta tiene mayores efectos sobre los seres vivos. Es especialmente importante, la absorción de radiación ultravioleta por el ozono para longitudes de onda menores que 330 nm (Blumthaler, 1993), donde los valores del coeficiente de absorción de ozono se incrementan rápidamente a medida que decrece la longitud de onda, hasta el punto de que, junto con la acción de otros gases atmosféricos, como el oxígeno, la radiación con longitud de onda inferior a 295 nm.

#### Dependencia de la radiación UV con la nubosidad.

La nubosidad tiene más influencia sobre la irradiación UV que cualquier otra variable atmosférica. Los efectos de la nubosidad son difíciles de determinar, debido a la complejidad geométrica y a la importancia de que los modelos estén bien detallados, por lo tanto, se utilizan modelos tridimensionales.

Bajo condiciones estándares, las nubes atenúan la radiación UV, sin embargo, en ciertos casos estas pueden aumentar la radiación hasta un 25%. (Cuando el cielo no está totalmente cerrado).

La condición más importante es si el Sol está o no obstruido por las nubes. En el análisis para un lugar específico esto puede representar una dificultad incluso para los estudios con

satélites. La recomendación para estos casos es realizar un histograma de la cantidad de transmisión como función de cantidad de nubosidad, en donde existirá un mínimo cuando el Sol haya sido tapado por las nubes, mientras que existe un máximo cuando las nubes no han bloqueado al Sol.

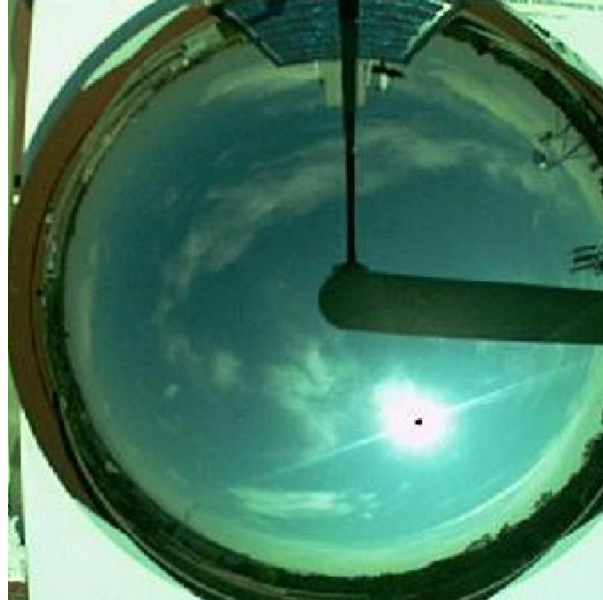


Figura 11. Cámara de cielo Instituto de Ingeniería UNAM

#### Albedo.

Las propiedades reflectantes bajas tienen una influencia sobre la exposición UV. La mayoría de las superficies naturales como la hierba, el suelo y el agua reflejan menos de 10% de la radiación UV incidente. Sin embargo, la nieve fresca refleja alrededor de un 80% de los rayos UV. Durante la primavera en altitudes más altas, bajo cielos despejados, la reflexión de la nieve podría aumentar los niveles de exposición a la radiación UV a los que existen durante el verano. La arena también refleja alrededor de entre un 10 y 25% la radiación UV, por lo tanto, puede aumentar significativamente la exposición UV en la playa. Se destaca que la radiación UV reflejada es de las principales fuentes de exposición al ojo. Efectos agudos, tales como la ceguera de nieve, mientras se practica esquí o la fotoqueratitis, mientras se broncea en la playa, pueden ser resultado de la radiación UV reflejada ya sea por la nieve o la arena, respectivamente.

**Dependencia con la Altitud.**

Aun cuando este efecto había sido ignorado hasta hace poco, se ha encontrado que, a mayor altitud, la dependencia de la irradiancia UV con el SZA (Solar Zenith Angle) cambian.

Modelos RT (Radiative Transfer models): con estos modelos se obtienen datos de irradiancia en la superficie bajo condiciones de cielo despejado con cantidades de ozono y tipo de aerosol que contiene la atmósfera.

La dificultad en la previsión del índice UV está en cuantificar la cantidad de ozono y la transmisión de la radiación UV a lo largo de la atmósfera bajo la presencia de nubosidad y aerosoles. La dificultad de estimar con precisión la presencia de aerosoles en una localidad específica, da como resultado grandes incertidumbres en la medición del índice UV.

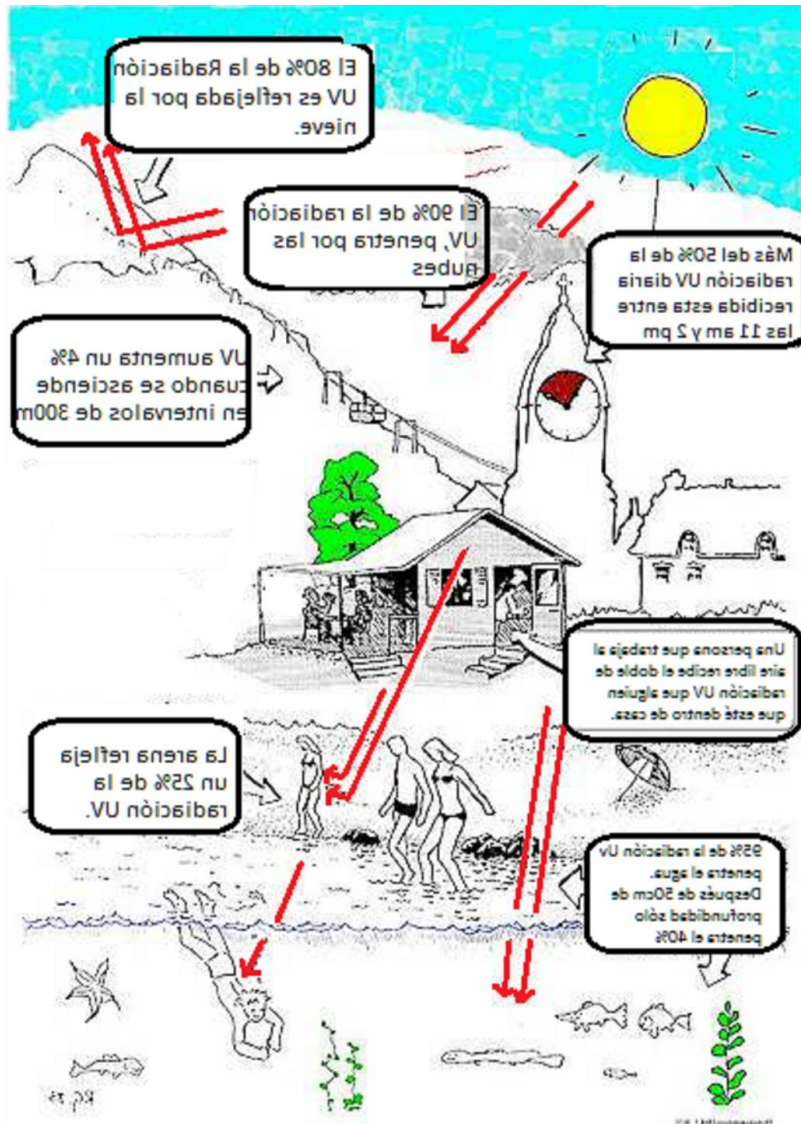


Figura 12. Factores que afectan los rayos UV (Modificado de Diffey BL y O Larko, climatología clínica.

Photodermatology 1 984, 1 :30-37. Con isión Perm.)

Una evaluación realista de los efectos fotobiológicos y ecológicos producidos por la radiación ultravioleta requiere de la consideración del efecto producido por la altitud.

El aumento del flujo de radiación solar con la altitud es consecuencia de la menor masa de aire atravesada a mayor altura. Si la altitud va asociada con la presencia de nieve, se produce, además, un incremento del flujo de radiación ultravioleta debido al aumento del albedo del terreno y a los efectos de dispersión múltiple con la atmósfera.

Además, este efecto de la altitud también depende del contenido específico en el lugar de la columna atmosférica: moléculas de aire, agua y aerosoles.

Si se realiza un análisis teórico de los diferentes parámetros que inciden en la variación de la radiación solar desde el tope de la atmósfera hasta el nivel del suelo, se puede observar que el agua que se encuentra en suspensión en la atmósfera, los aerosoles, el ozono y la mezcla de gases son los factores atmosféricos que más inciden en la variación de la radiación con la altura (Hoyos et al., 2003).

#### Cuantificación de la Energía de Radiación Solar.

Se conoce como radiometría a la ciencia encargada de la medición de la radiación.

Los conceptos radiométricos más comunes son los siguientes:

Energía de radiación ( $\epsilon$ ): Es la energía total emitida por un cuerpo radiante, dada en Joule (J).

Potencia de radiación o Flujo de energía de radiación: Se define como la razón a la cual emite o recibe un objeto la energía de radiación por unidad de tiempo, expresada como:

$$P = \frac{d\epsilon}{dt}, W \dots \dots \dots (1.5)$$

La irradiancia o densidad de flujo de energía de radiación, se define como la razón a la cual la energía de radiación es emitida o recibida por un objeto por unidad de tiempo y por unidad de área:

$$I = \frac{d}{dA} \left( \frac{d\epsilon}{dt} \right) = \frac{dP}{dA}, \left[ \frac{W}{m^2} \right] \dots \dots \dots (1.6.)$$



La Radiancia se define como la densidad de flujo de energía de radiación por unidad de ángulo sólido (expresado en Estereorradianes, Sr), la cual es emitida o recibida por la superficie de un objeto, perpendicular a la dirección de propagación, esto es:

$$L = \frac{d}{d\omega} \frac{d}{\cos\vartheta} \frac{d\varepsilon}{dA dt}, W/\frac{m^2}{Sr} \dots \dots \dots (1.7)$$

La Irradiación se mide como la densidad de flujo de energía de radiación que emite o recibe un objeto durante un cierto tiempo, dicho en otras palabras, es la integral de la irradiancia a lo largo de un cierto tiempo, esto es:

$$R = \int_{t_1}^{t_2} \frac{d}{dA} \left( \frac{d\varepsilon}{dt} \right) dt = \frac{d}{dA} \left[ \int_{t_1}^{t_2} d\varepsilon \right], J/m^2 \dots \dots \dots (1.8)$$

La irradiación también se acostumbra a expresar en Watt-Hora/m<sup>2</sup> (WH/m<sup>2</sup>) y en Horas Pico (HP). Estas unidades tienen su equivalente en el SI.

$$1 WH/m^2 = (3600s)(1 W/m^2) = 3.6 KJ/m^2$$

$$1 HP = 1000 WH/m^2 = 3.6 MJ/m^2,$$

Definición de las unidades radiométricas básicas.

Considerando el diferencial de la energía radiante  $dE_\lambda$  en un intervalo de tiempo  $dt$ ; y para un intervalo específico de longitud de onda ( $\lambda$  a  $\lambda + dt$ ); los cuales cruzan un área determinada  $dA$  como se observa en la figura 13; todo está confinado dentro de un diferencial de ángulo sólido., el cual está en dirección a un ángulo  $\Theta$  normal al  $dA$ . Esta energía es expresada por la ecuación 1.8 en términos de intensidad específica  $I_\lambda$ .

$$dE_\lambda = I_\lambda \cos\theta dA d\Omega d\lambda dt \dots\dots\dots 1.9$$

En donde el  $\cos\theta dA$  denota el área efectiva en la cual la energía es recibida inicialmente.

La ecuación 1.9 define la *intensidad monocromática* conocida también como radiancia y de manera general está definida por la siguiente ecuación:

$$I_\lambda = \frac{dE_\lambda}{\cos\theta d\Omega d\lambda dt dA} \dots\dots\dots 1.10$$

De tal manera, la intensidad está definida por unidades de energía por área, por tiempo, por longitud de onda y por estereorradián. Con esto es evidente que la intensidad implica una dirección del rayo de radiación.

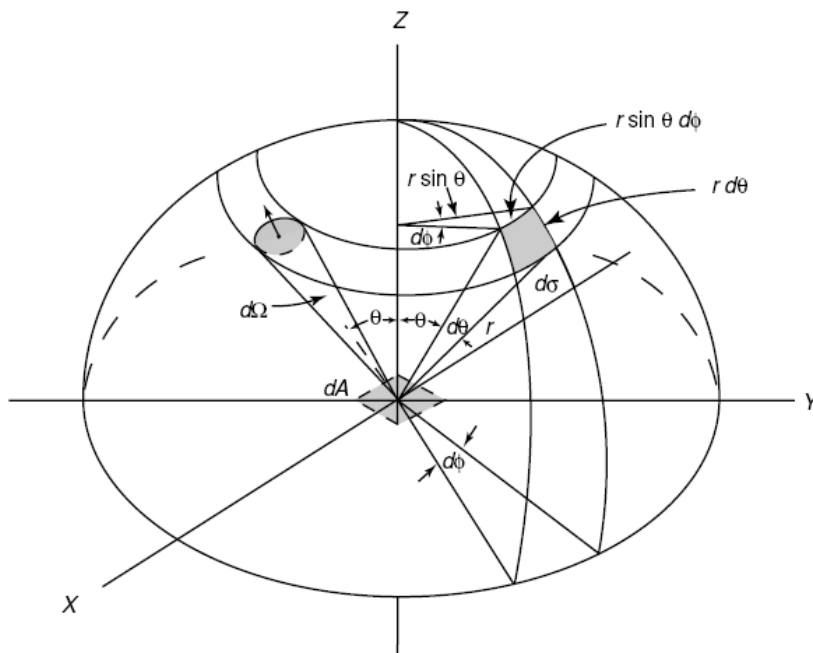


Figura 13. Ilustración de un diferencial de ángulo sólido y su representación en coordenadas polares.

La *densidad del flujo monocromático* o también conocido como *irradiancia monocromática* o *energía radiante* es definida por la componente normal de  $I_\lambda$  integrada sobre un ángulo sólido hemisférico y puede ser definida como:

$$F_\lambda = \int_{\Omega} I_\lambda \cos \theta d\Omega. \dots\dots\dots 1.11$$

Para el caso de radiación isotrópica (es cuando la intensidad es independiente a la dirección), la densidad de flujo monocromático se expresa como:

$$F_\lambda = \pi I_\lambda \dots\dots\dots 1.12$$

La densidad de flujo de energía radiante total, o *irradiancia*, para todas las longitudes de onda (energía por unidad de área, por tiempo), puede ser obtenida integrando la densidad de flujo monocromática sobre todo el espectro electromagnético.

$$F = \int_0^\infty F_\lambda \dots\dots\dots 1.13$$

Por otra parte, el flujo total  $f$ , o radiación  $W$  (energía por tiempo) está definida por

$$f = \int_A F dA \dots\dots\dots 1.14$$

La densidad de flujo monocromático en función de la frecuencia podría ser escrito de la forma:

$$F_\nu = \frac{dF}{d\nu} \dots\dots\dots 1.15$$

Para la relación entre longitud de onda y frecuencia se utiliza la siguiente expresión:

$$F_\nu = -(\lambda^2/c)F_\lambda \dots\dots\dots 1.16$$

De la misma manera, la intensidad en relación con la longitud de onda y la frecuencia está representado por:

$$I_\nu = -(\lambda^2/c)I_\lambda \dots\dots\dots 1.17$$

Cuando la densidad de flujo o la irradiancia son sobre una superficie determinada, la cantidad es llamada emitancia. Cuando ésta se expresa en términos de la longitud de onda ésta se refiere a emitancia monocromática.

La intensidad o la radiancia es llamada también *luminancia*. El flujo total recibido en una superficie es llamado luminosidad. Los conceptos básicos de cantidades radiométricas se resumen en la siguiente tabla 3.

Símbolo	Cantidad	Dimensiones	Unidades
<i>E</i>	<i>Energía</i>	$ML^2T^{-2}$	Joule (J)
<i>f</i>	Flujo	$ML^2T^{-3}$	Joule por segundo (J/s, W)
<i>F</i>	Densidad de Flujo (Irradiancia)	$MT^{-3}$	Joule por segundo por metro cuadrado. (W/m <sup>2</sup> )
<i>I</i>	Intensidad (radiancia)	$MT^{-3}$	Joule por segundo por metro por estereorradián. (W/m <sup>2</sup> sr)

Tabla 3. Cantidades Radiométricas. M= masa, L= longitud, T= tiempo.

## Posibles daños a la salud debidos a la Radiación UV.

Mientras más corta sea la longitud de onda, es más peligrosa y es causa de daños irreversibles para la salud [4].

### Radiación UV-A

Este tipo es el menos peligroso de la radiación ultravioleta, aunque llega a la Tierra en forma considerable.

Alguno de los daños biológicos que puede causar son los siguientes:

Inmunosupresión

Lesiones crónicas producidas por la luz (arrugas)

Formación de radicales libres que producen alergias solares (foto dermatitis paliforme)

### Radiación UV-B

Este tipo de radiación es potencialmente dañina, ya que causa problemas como:

Subyuga el crecimiento de las plantas

Una exposición prolongada a este tipo de radiación puede causar daños a la salud humana tales como:

- Cataratas.
- Inflamaciones en los ojos.
- Cáncer de piel.
- Debilitamiento del sistema inmunológico, por lo tanto, crece la probabilidad de contraer infecciones.
- Disminuye la eficacia de las vacunas, debido a que la radiación ultravioleta tipo B actúa como un inmunodepresor.

Es importante señalar que la cantidad de radiación ultravioleta tipo B es proporcional al deterioro de la capa de ozono ya que una reducción en esta capa implica un aumento en la radiación en la superficie terrestre.

### Radiación UV-C

Debido a que los rayos ultravioletas tipo C poseen un alto nivel energético es la forma más dañina de la radiación ultravioleta, afortunadamente esta radiación es absorbida por el ozono y el oxígeno de la estratósfera.

### Exposición humana.

Para la mayoría de los seres vivos el Sol es la principal fuente de exposición a los rayos UV. En algunos casos esta exposición se da de forma deliberada (bronceado de la piel), en otros casos es el resultado de actividades al aire libre.

Los niveles de la radiación UV cambian constantemente a lo largo del día; por lo tanto, la exposición personal a los rayos UV dependerá de:

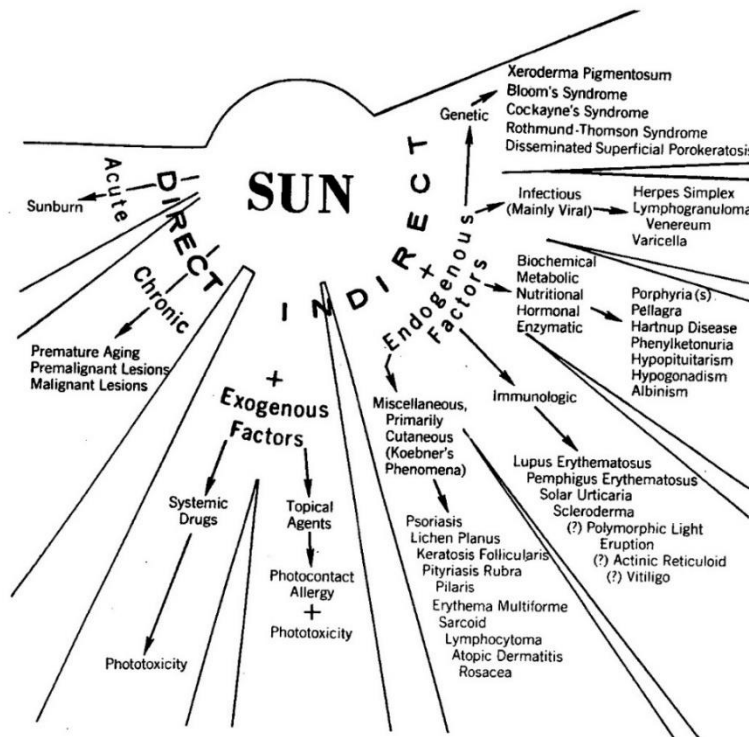
- La geometría de la exposición: La cantidad de radiación que reciben las partes del cuerpo debido a su orientación con respecto al Sol y a la reflexión de las superficies de la tierra.
- La duración de la exposición: Se refiere a la exposición total diaria a los rayos UV relacionados con la intensidad de esos rayos, en función del tiempo de exposición.

-Protección personal: La exposición se puede reducir considerablemente con el uso de la protección personal, ésta puede ser con prendas de vestir adecuadas; como sombreros y gafas bien diseñadas.

-Hábitos y Costumbres: Se debe evitar la exposición a la radiación UV cuando ésta alcanza los niveles más intensos, que por lo regular ocurre en el medio día de los meses de primavera y verano.

**Daño a la piel debido a la Radiación ultravioleta (Eritema)**

Los grandes y variados efectos de la radiación solar sobre la piel humana son presentados de forma esquemática en la siguiente figura 14:



**Figura 14. Factores Endógenos y exógenos de los efectos de la Radiación Ultravioleta sobre la Salud Humana**

El efecto más conocido de la radiación solar sobre la piel humana es conocido como eritema.

Exponer la piel a la radiación solar propicia una inflamación grave, seguida por una quemadura y un engrosamiento de la piel, asociado con la síntesis de la vitamina D y la inmunosupresión.

De acuerdo a la acción espectral de la radiación ultravioleta, la radiación UV-B es la más importante para producir estos efectos.

La evidencia clínica de la inflamación causada por la radiación UV-B es un evento a largo plazo, el primer síntoma medible comienza con una vasodilatación que se identifica dentro de 1 a 5 horas. Dependiendo de la dosis UV y el tipo de piel, el eritema comienza a ser visible, llegando a intensidades máximas por 18-24 horas de exposición, estos síntomas por lo regular desaparecen después de tres días dejando de exponerse a la radiación UV. La inflamación puede resultar más grave si el individuo es de edad avanzada o tiene un defecto en el mecanismo de reparación del ADN. (Urbach, 2001)

#### Acción espectral y Eritema cutáneo.

En el año de 1889, Widmark (Widmark, 1889) fue el primero en probar que la radiación ultravioleta, es una de las causantes del eritema cutáneo. Widmark desarrolló un sencillo pero elegante experimento en el cual utilizó un plato de vidrio y un plato de cuarzo, y observó que cuando la luz es transmitida por el plato de vidrio la fotoeritematosis es prevenida mientras que en el plato de cuarzo esto no sucede. Su conclusión fue que la radiación Ultravioleta tiene la capacidad, independientemente de su energía en forma de calor, de producir efectos patológicos. Además, Widmark observó que la capacidad de la atmosfera para absorber la radiación Ultravioleta de longitudes de onda corta, descubierto por Cornu (Urbach, 2001), es probablemente la mayor importancia de la atmosfera para la existencia de la vida orgánica sobre la tierra. No contestaste a mi pregunta

Por definición la acción espectral es la medida de la efectividad de diferentes longitudes de onda de radiación para generar un proceso fotobiológico. Para determinar el espectro de acción los requerimientos son los siguientes: Una fuente de radiación monocromática, lo más pura posible, y un claro, definible, identificable y reproducible efecto de la radiación.

La determinación de un espectro de acción para cuantificar los efectos de la Radiación Ultravioleta sobre la piel humana tuvo que esperar hasta el desarrollo de fuentes de Radiación UV de gran intensidad, y del desarrollo de un monocromador capaz de proyectar a las diferentes bandas de radiación con una alta claridad.

El interés por estudiar los efectos nocivos de la Radiación Ultravioleta sobre la piel comenzó con las observaciones que realizaron algunos soldados que contrajeron tuberculosis en la Primera Guerra Mundial, los cuales fueron enviados a los Alpes suizos para que pudieran respirar aire puro. En esa estancia ellos observaron que, si se exponían a la Radiación del Sol en el medio día solar, les resultaba en contraer una severa quemadura en su piel. Ellos desconocían que la causante de esta quemadura era el espectro ultravioleta de la Radiación del Sol, por lo tanto, comenzaron una serie de elegantes experimentos para encontrar la causa, en estos experimentos principalmente utilizaban lámparas de mercurio y su espectro

de emisión era separado por prismas de cuarzo, así se determinó el espectro de acción para producir en la piel de los humanos un daño.

#### Situación de Cáncer de Piel en México

El cáncer de piel es el carcinoma más frecuente en el ser humano. Se sabe que ha aumentado su frecuencia en los últimos años a nivel mundial.<sup>1</sup> En nuestro país hay un subregistro de casos, ya que la mayoría de ellos no causan mortalidad y muchos son tratados sin estudio histopatológico confirmatorio, según el Registro Histopatológico de Neoplasia Malignas de 2004, el cáncer de piel ocupó el tercer lugar general de incidencia, solo precedido por el cáncer cervicouterino y el cáncer de pulmón, y de acuerdo al Instituto Nacional de Cancerología, en 2008 el cáncer de piel ocupó el primer lugar de consulta en hombres y el cuarto en mujeres.

La probabilidad de padecer cáncer de piel se incrementa con la edad; es 100 veces más frecuente en las personas entre 55 y 75 años que en aquellas menores de 10 años. Sin embargo, durante las dos últimas décadas se ha notado un incremento en los casos de cáncer de piel en jóvenes (11, 12). En respuesta a ello se han realizado diferentes investigaciones que apuntan hacia la Radiación Ultravioleta Acumulada durante la infancia temprana y la adolescencia como principal desencadenante (13), esto debido a quemaduras solares frecuentes y/o uso de cámaras de bronceado en las dos primeras décadas de la vida, que es cuando se realiza del 50 al 80% del fotodaño en la piel (14,15). Desde 1930 se han publicado casos de cáncer de piel en personas jóvenes (inclusive en niños y adolescentes) no asociados a desórdenes genéticos; y varios estudios epidemiológicos han reportado que la frecuencia de Cáncer de piel en este grupo de edad se encuentra entre el 1-3%(16,19).

La exposición solar es determinante en el desarrollo del cáncer de piel, especialmente la exposición a la radiación solar intensa durante la infancia y la adolescencia. Se estima que los niños pasan entre 2.5 y 3 horas expuestos al Sol diariamente, pueden recibir más radiación ultravioleta del tipo B por año, incluso más que los adultos. De acuerdo algunos estudios la incidencia de cáncer de piel no melanoma se puede reducir hasta en un 78% si se utiliza fotoprotector de forma regular antes de los 18 años de edad.



## Medición de la Radiación UV

---

### Medición de la radiación ultravioleta

Es importante conocer el funcionamiento de los sensores que miden la radiación solar, estos sensores pueden ser de dos tipos: sensores termoeléctricos (termopilas), o sensores fotovoltaicos [9].

#### Sensores termoeléctricos.

El elemento principal de los sensores termoeléctricos es el termopar, y con estos se construyen las termopilas. Un termopar está compuesto por dos diferentes conductores con los cuales se hacen un par de juntas alternando los conductores para formar un circuito cerrado. Si las juntas se ponen en contacto con diferentes fuentes de calor y se establece un gradiente de temperatura, se generará una fuerza electromotriz. Una termopila es un conjunto de termopares conectados en serie, de tal forma que la fuerza electromotriz total será la suma de las fuerzas electromotrices de los elementos que la forman. El arreglo de los termopares se realiza configurando áreas conocidas como de “juntas frías” (a temperatura ambiente) y áreas de “juntas calientes” (calentados por radiación). El área de las juntas calientes es la que constituye realmente el sensor de radiación, es por esta razón, que además de ser altamente absorbente, debe de ser fabricado con un material no selectivo a la radiación de diferentes longitudes de onda, por lo tanto su absorción espectral debe ser constante en todas las longitudes de onda del espectro ( $0.3 \mu\text{m}$  a  $4 \mu\text{m}$ ) y ser lo más próxima a 100%.

Un sensor termoeléctrico se caracteriza por ser uno de los mejores instrumentos para medir los flujos de energía de la radiación; sin embargo, siempre se deben de calibrar respecto de instrumentos con características físicas y de diseño capaces de medir de forma absoluta los flujos de radiación, con niveles altos de exactitud.

#### Sensores fotovoltaicos.

Los sensores fotovoltaicos por lo regular son fotodiodos de silicio, los cuales por sus características físicas han resultado ser buenos simuladores de piranómetros, esto porque las comparaciones con los piranómetros de primera clase a los que se ha sometido bajo diferentes condiciones de cielo, han dado como resultado un alto grado de correlación estadística, lo cual establece que con este tipo de sensores se puede tener una precisión dentro de un  $\pm 5\%$  para días nublados y hasta un  $\pm 2\%$  para días despejados[3].

El principal problema que presentan los sensores fotovoltaicos se deriva del manejo de la energía entrante, ya que cuando existe un flujo mayor los sensores pueden llegar a su capacidad límite y no mostrarán de manera correcta el monitoreo del flujo de la radiación solar.

### Sensores para el registro de la radiación Ultravioleta.

Para el monitoreo de la radiación UV no existen muchas compañías que se dediquen a la fabricación de sensores de este tipo, ya que para su fabricación se tiene que poner énfasis en el estudio de la selectividad en las longitudes de onda. Para lograr esto los desarrolladores de instrumentos han tenido que realizar grandes investigaciones sobre materiales que tengan alta sensibilidad en longitudes de onda específicas.

### Estación Radiométrica del Instituto de Ingeniería

En el Instituto de Ingeniería se han venido desarrollando diversos proyectos encaminados a promover el uso de las energías renovables, particularmente la energía solar.

Uno de los aspectos que es conveniente resaltar es que, en la Planta Solar del Instituto de Ingeniería, no solamente se están desarrollando proyectos para la generación de energía eléctrica, sino que también se están realizando investigaciones para el uso de la energía solar en la desintoxicación de agua.

Es por eso que es de vital importancia que la planta solar cuente con una estación meteorológica completa y actualizada para obtener un registro confiable de las variables meteorológicas que intervienen en el desarrollo de dichos proyectos.

### Estación Meteorológica.

Una estación meteorológica es un sistema integrado por varios sensores, los cuales están conectados a un dispositivo llamado datalogger, quien se encarga de efectuar la adquisición y procesamiento de sus señales emitidas para su posterior almacenamiento en una base de datos.

La estación meteorológica de la Planta Solar del Instituto de Ingeniería es un sistema integrado por los siguientes sensores:

Un piranómetro, un termohigrómetro, un radiómetro, un anemómetro y veleta; y estos están conectados a un datalogger Modelo CR10 de Campbell Scientific.

### Piranómetro de Banda Giratoria

RSR (Rotating Shadowband Radiometer) desarrollado por Ascension Technologies. Ver figura 15.



**Figura 15. Unidad Principal RSR.**

El piranómetro de banda giratoria fue desarrollado por Ascension Technologies Inc. (ATI, Waltham, MA) en el año de 1990 por encargo de las autoridades de energía del gobierno de Nueva York.

El piranómetro de banda giratoria es el único instrumento que proporciona mediciones directas de irradiancia global e irradiancia difusa, y permite calcular los valores de la irradiancia directa normal.

Los principales componentes del RSR son:

- 1.- Piranómetro de silicio de LI-COR modelo PY26523, el cual está montado en un plano horizontal, y es usado para medir la irradiancia global y difusa.
- 2.- Banda giratoria y motor para su rotación.
- 3.-Adquisidor de datos CR-10 producido por Campbell Scientific, Inc.
- 4.- Caja de fibra de vidrio para la protección del CR-10

El sistema de adquisición de datos o datalogger considera los parámetros de la latitud y longitud del lugar donde está ubicado el RSR, así como una base en tiempo real (reloj fechador) para calcular la posición solar.

Operación del RSR

El RSR con su piranómetro de silicio mide directamente cada minuto la irradiancia global horizontal (GHI), después cada 54 segundos, el registrador de datos acciona el motor para hacer girar la banda rotatoria; una vez terminada la rotación alrededor del piranómetro, el registrador adquiere los datos con una frecuencia alta, a fin de tomar el valor más significativo de irradiancia difusa.

El datalogger calcula el ángulo cenital con los modelos que describen el movimiento del Sol, para lo cual necesita la fecha y las coordenadas del lugar.

Teniendo el ángulo cenital, la irradiancia global horizontal y la irradiancia difusa, la irradiancia directa normal es calculada usando la siguiente ecuación:

$$GHI = DHI + Id \cos(z) \dots \dots (5.4.1)$$

Donde:

GHI es la irradiancia global horizontal,

DHI es la irradiancia difusa horizontal,

Id es la irradiancia directa normal,

y z es el ángulo cenital.

Después de un periodo de 10 minutos, los 10 valores tomados por el datalogger son promediados y guardados en cierto archivo destinado para el almacenamiento de datos.

Ventajas del piranómetro de banda giratoria sobre los instrumentos basados en termopilas.

Algunos estudios han arrojado que los piranómetros con fotodiodo de silicio tienen una mayor tolerancia a los efectos de la suciedad que los radiómetros con termopilas.

Los fotodiodos de silicio tienen una estabilidad mayor, por lo que tienen la ventaja de que los periodos de re-calibración sean más prolongados.

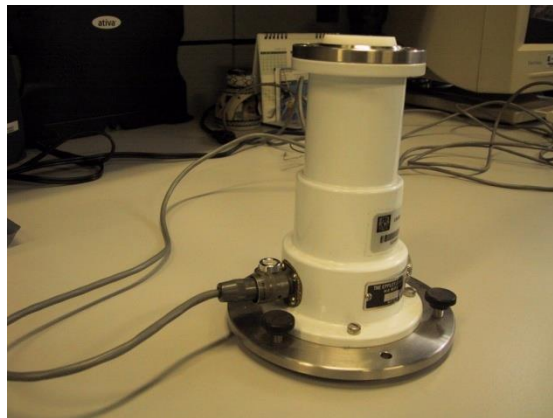
El RSR es un sistema de costo accesible, en comparación a otros radiómetros.

Desventajas del RSR.

- Los fotodiodos de silicio son muy sensibles a los cambios espectrales y de temperatura, por lo que las mediciones del RSR tendrán cierta incertidumbre.

Requiere de una verificación continua del reloj fechador del datalogger para que calcule el ángulo cenit correctamente. El datalogger necesita ser inicializado regularmente, debido a que el tiempo se desfasa aproximadamente un minuto por mes. Para conocer en detalle la conexión de los instrumentos ver Quiñones A., Almanza R. “Modernización de la Estación Meteorológica de la Planta Solar del Instituto de Ingeniería UNAM” Ingeniería de la Energía Solar Series del Instituto de Ingeniería.

### Radiómetro EPPLEY



**Figura. 16. Radiómetro Eppley**

Éste es un instrumento que fue desarrollado para la medición de la radiación solar UV. Las principales características de diseño son que es de fácil operación y se combina con su óptimo desempeño que se compara con los piranómetros meteorológicos destinados a registro de la radiación total de onda corta emitida por el Sol y el cielo sobre una superficie horizontal. Otra característica importante es que este radiómetro prescinde de métodos sofisticados para amplificar la señal, ya que utiliza potenciómetros.

El radiómetro Eppley UV utiliza un recipiente herméticamente cerrado de selenio y una celda fotoeléctrica, que está protegida por una ventana de cuarzo.

Opera a bajos niveles de luz y en condiciones de mínima fuga de corriente eléctrica, a fin de garantizar un rendimiento alto en la estabilidad en periodos largos de exposición.

El radiómetro EPPLEY tiene un disco compuesto de cuarzo opaco que, al actuar como receptor, no sólo reduce el flujo de radiación en niveles aceptables, sino que también proporciona datos mediante la ley del coseno de Lambert.

El encapsulado de banda estrecha filtra la respuesta espectral de la celda fotoeléctrica para el intervalo de 295-385 nanómetros de longitud de onda, con una insignificante transmisión secundaria.

Por estar construido de latón cromado, es ideal para soportar las inclemencias del tiempo. Este radiómetro contiene un tornillo nivelador ajustable y un nivel de burbuja circular.

La calibración del sensor se realiza bajo condiciones de exposición naturales.

Los radiómetros se han diseñado para mediciones precisas de la radiación ultravioleta de la atmósfera para tres diferentes rangos espectrales. Todos los modelos miden la radiación UV global, es decir, la suma directa de la radiación solar y la radiación que ha sido dispersada por las partículas o moléculas en el aire.

La respuesta angular sigue al coseno del ángulo cenital como un ideal de la superficie de Lambert, el filtro óptico interno controla la temperatura de 25 °C, independiente a la temperatura externa, esto elimina las variaciones de la sensibilidad espectral causadas por el cambio de temperaturas.

#### Instalación.

Al instalar el radiómetro se debe considerar lo siguiente:

1. El radiómetro debe instalarse lo más alto posible para minimizar la proyección de sombras producidas por árboles, edificios, etc.
2. El radiómetro deben ser cuidadosamente instalado en el plano horizontal, con visibilidad plena de todo el horizonte. Utilice el nivel de burbuja incorporado para encontrar la posición correcta.
3. La instalación del radiómetro deben garantizar la ventilación natural para disipar el calor causado por la radiación solar y la energía eléctrica, para evitar algún daño al equipo.

Para conocer en detalle la conexión de los instrumentos ver Quiñones A., Almanza R. "Modernización de la Estación Meteorológica de la Planta Solar del Instituto de Ingeniería UNAM" Ingeniería de la Energía Solar Series del Instituto de Ingeniería.

### Validación y control de calidad de los datos de radiación.

La validación y el control de calidad de los datos de radiación son tan importantes como los procesos de medición, por tal motivo se tiene que seguir ciertos pasos para asegurar la precisión de los datos.

Dentro de los procesos de control de calidad de los datos se puede recurrir a mediciones redundantes o a la comparación con algoritmos o tablas de radiación máxima para días claros.

Por lo tanto, se recomienda que el programa de monitoreo de datos esté conformado de procesos redundantes, lo ideal sería utilizar sistemas de medida y registros independientes, por lo que mediante comparaciones realizadas en estados estacionarios (días despejados, pequeños ángulos cenitales y poca turbiedad atmosférica), se podrían detectar valores erróneos en donde las disparidades entre los sistemas superaran los errores de medición típicos, que por lo regular son menores al 4%.

Para la radiación global, Iqbal (1983) recoge procedimientos de varios autores donde se proponen valores máximos diarios para días despejados. Según algunos autores una diferencia aceptable es de alrededor un 20% en invierno y de 15% para el verano.

Para el caso de la base de datos que se está generando con la estación radiométrica de la Planta Solar del Instituto de Ingeniería, los datos se han validado mediante el algoritmo propuesto por S. Younes (ver figura 15)

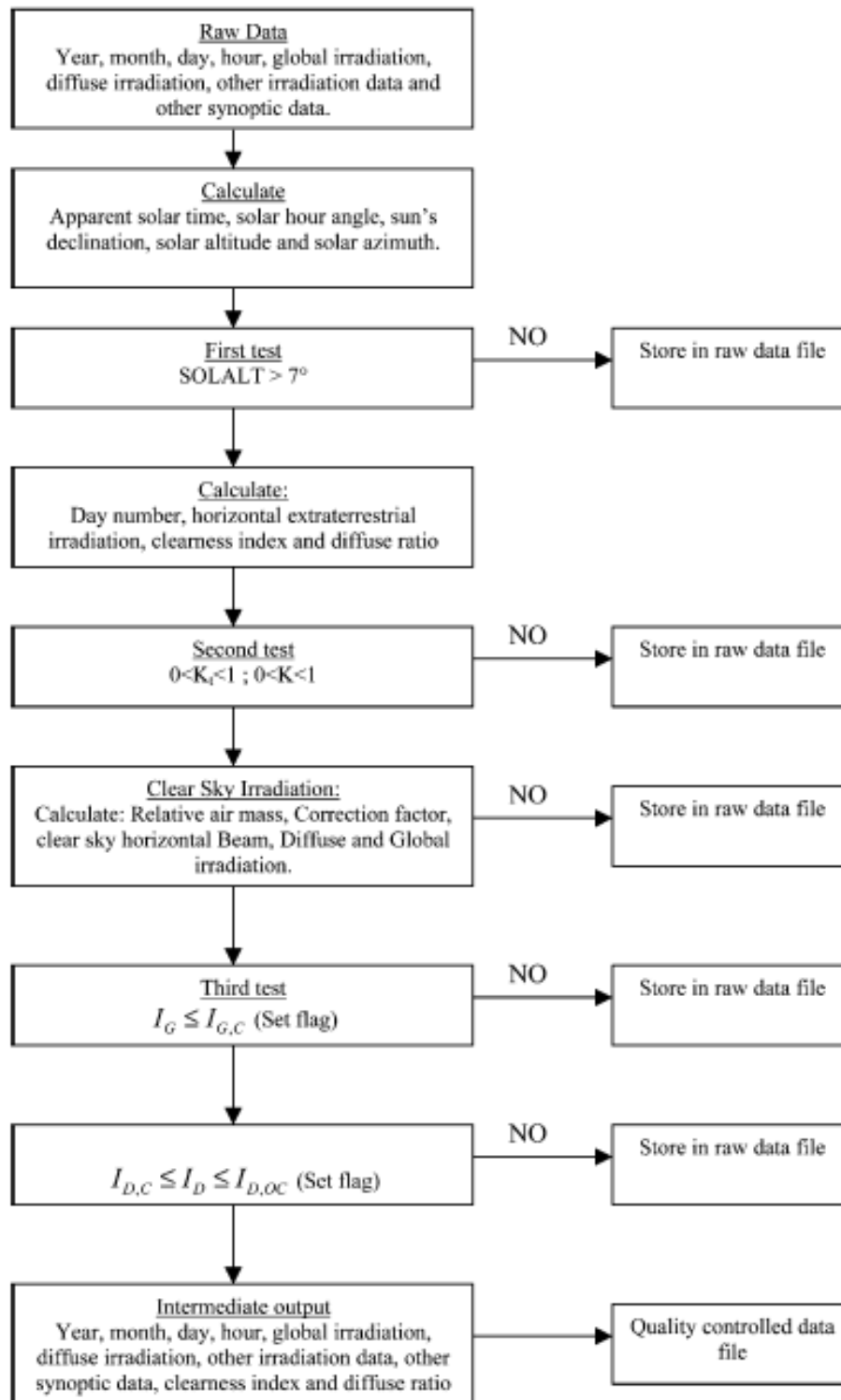


Figura 15. Diagrama de Flujo del proceso de validación de datos propuesto por S. Younes.



## Modelo de Radiación Ultravioleta para la República a partir del Modelo de Reddy e imágenes satelitales para irradiación directa normal en la República Mexicana.

### Integración de la Percepción Remota y los sistemas de información geográfica

#### Breve Historia

En el año 1945, en un artículo publicado por una revista de ficción, el escritor inglés Arthur C. Clarke examinó en detalle la posibilidad de contar con dispositivos en el espacio que permitieran la creación de una red de comunicaciones que abarcarán todo el planeta, llegando a sugerir que solo tres satélites en órbita geoestacionaria podrían alcanzar para dar cobertura a todo el globo terráqueo.

En el año 1950, empezó la carrera por diseñar tecnología de cartografía automatizada, tanto en Norteamérica así como en Europa.

Para 1957, Los Estados Unidos crearon la NASA y la URSS puso en órbita el Sputnik.

En el año 1964, Harvard creó su primer laboratorio, que diseñó un sistema geográfico de información SIG con datos vectoriales.

Paralelamente los Estados Unidos habían lanzado satélites en la década de los 60's y para 1968, retornó a la Tierra el satélite Apolo 8, con imágenes tomadas desde el espacio.

En la década de los años 70's fue puesto en órbita el satélite Landsat 3 y 4, creando la necesidad de tratamiento de imágenes satelitales, por lo que Bruce Rado y Lawrie Jordan desarrollaron el software ERDAS en 1978.

En los años 80's estalló el boom en la generación de softwares para SIG y PR incluso se consolidó la Constelación Navstar para el empleo del GPS.

Surgen en los años 90's Radarsat (1995), Landsat-7 o Ikonos, productos de teledetección, para los SIG, la versión profesional de MapInfo que se minimizó con la aparición de PCI Geomatics.

A fines de los años 90's, Japón y los países de la Unión Europea, avanzaron enormemente en el desarrollo de la tecnología geoespacial.

En la última década del siglo XX, Estados Unidos lanzó el Quickbird-1(2000), un año después Quickbird-2 y en el año 2002 ya se comercializaban estas imágenes de gran resolución espacial. Meses después SPOT inició la obtención de imágenes, con menos resolución que las de Quickbird.

### La geo tecnología Espacial y los SIG

Los sistemas de Información geográfica SIG, forman parte de la geotecnología espacial, los cuales son los instrumentos que facilitan el conocimiento del territorio, la administración de los recursos naturales, la toma de decisiones y la búsqueda más acertada del mejoramiento de las condiciones de la vida de la población **(IGAC, 2006)**

La geo tecnología espacial, se considera un conjunto de disciplinas que incluyen: la cartografía, la geografía, la geodesia, la topografía, la fotogrametría, la teledetección, la estadística, y la informática, que utilizan datos georreferenciados. **(Ministerio de Fomento, Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, España, 2009)**

La tecnología Geo-Espacial generalmente refiere a la ciencia y las herramientas usadas para adquirir, almacenar, analizar y producir datos en dos o tres dimensiones, referenciados a la Tierra por algún tipo de sistema de coordenadas del mundo real **(U.S. Geological Survey science for a changing world, en su sitio [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov))**

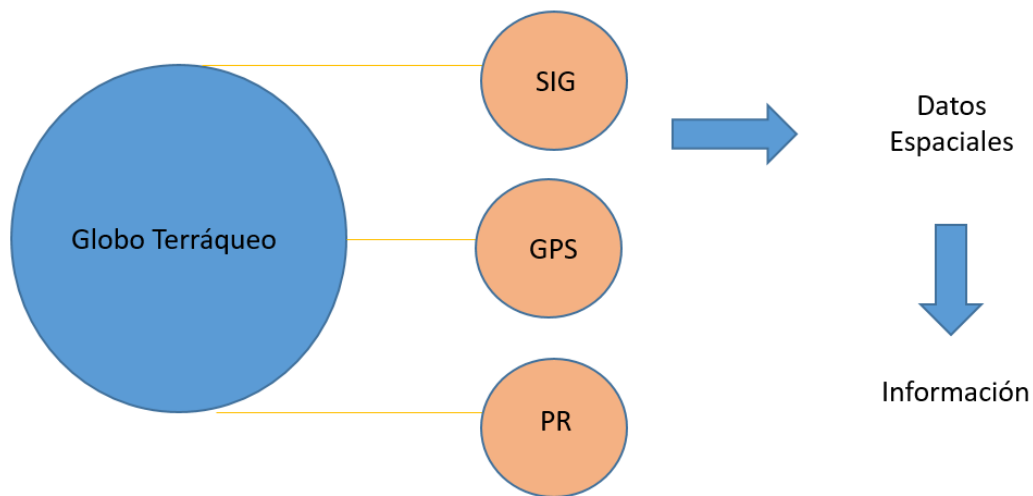


Figura 16. Esquema de funcionamiento de los sistemas SIG

Las mediciones en Tierra de la irradiación Solar global han sido medidas en varias estaciones de la República Mexicana y con el modelo de (Quiñones-Almanza) se han podido obtener los valores de Irradiancia UV para varias regiones de la República Mexicana, con este modelo de Irradiancia UV y con el modelo para irradiación global propuesto por Estrada-Cajigal, se han podido inferir los correspondientes valores de Irradiancia UV, para diferentes localidades de la República Mexicana. Para esta etapa del modelado, solo se tomaron en

cuenta los periodos máximos y mínimos de la Irradiancia global. Es importante comentar que el Modelo desarrollado por Estrada-Cajigal, es un trabajo que consistió en presentar las irradiaciones global, directa y difusa, para cada mes del año, en la República Mexicana. Para el caso de la irradiación global, fue utilizado el modelo de Reddy, modelo desarrollado a partir de datos meteorológicos.

En el caso de los valores mínimos, fueron obtenidos en el mes de enero, donde los valores mínimos oscilaron en valores de 19-7 [W/m<sup>2</sup>]. Los lugares de la república que registraron los valores mínimos más significativos fueron Tamaulipas y Veracruz (Tabla 4).

Detector svtau Localidad	$H_G^h$ (Estrada-Cajigal) W/m <sup>2</sup>	$H_{UV}^h$ calculada (Quiñones) (W/m <sup>2</sup> )	Época del año
Veracruz, Tamaulipas	<b>222</b>	<b>8</b>	Invierno
Yucatan, Quintana Roo, Campeche	<b>296.3</b>	<b>11</b>	Invierno
Nayarit	<b>333.3</b>	<b>12</b>	Invierno
Distrito Federal, Chihuahua	444.44	16	Invierno

Tabla 4. Resultados de Irradiancia UV mínima, para algunas localidades de la República Mexicana.

Mientras que los valores máximos se registrados en el mes de Junio en un rango de entre 42 y 23 [W/m<sup>2</sup>]. La zona de la República Mexicana que registró los valores máximos más significativos fueron Sonora, Sinaloa, Chihuahua y el D.F. Con valores de 42 y 41 [W/m<sup>2</sup>] (Tabla 5).

Localidad	$H_G^h$ (Estrada-Cajigal) W/m <sup>2</sup>	$H_{UV}^h$ calculada (Quiñones) (W/m <sup>2</sup> )	Época del año
Baja California, Sonora, Mexico City, Chihuahua	1148	41-42	Verano
Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas	1000-1037	37-38	Verano
Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Michoacan	666-814	24-29	Verano

Tabla 5. Resultados de Irradiancia UV máxima, para algunas localidades de la República Mexicana.



Figura 17. Irradiancia mínima de Radiación UV en la República Mexicana.

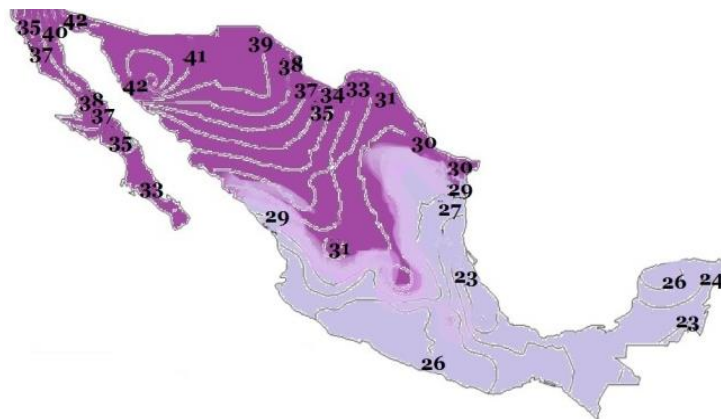


Figura 18. Irradiancia máxima de Radiación UV en la República Mexicana.

## Obtención de Información con Datos satelitales

### Elección imagen satelital

Las principales características que se puede tomar en cuenta para elegir una imagen son: tamaño del área de la cobertura de la imagen, resolución espacial, resolución espectral, resolución temporal, resolución métrica y ángulo iluminación solar.

Se puede elegir una imagen satelital ideal a través de las siguientes características:

Elección de la imagen siguiendo la resolución Espacial.

Elección de la imagen siguiendo el Área de Cobertura de imagen-Mosaico.

Elección de la imagen siguiendo la Resolución Espectral-Bandas.

**Elección de la imagen siguiendo la Resolución Espacial.**

La resolución espacial determina el tamaño del menor objeto que es posible representar en la imagen. Por lo tanto, en este caso se deben de escoger las imágenes de acuerdo a las magnitudes de la escala del trabajo a realizar.

La forma más simple para definir el tipo de resolución espacial que se debe de utilizar es establecer una relación entre la resolución espacial y la escala de trabajo que se pretende utilizar. Algunas relaciones generales son las siguientes:

Resolución Espacial	Escala de trabajo
1metro	1:2.000
5 metros	1:12.000
10 metros	1:25.000
20 metros	1:50.000
30 metros	1:80.000
80 metros	1:200.000
1000metros	1:1500.000

Por otro lado, también es posible definir el tamaño de la resolución espacial tomando en cuenta el tipo de información que se desea obtener, por ejemplo:

Resolución Espacial	Características
0.61cm a 5 metros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite diferenciar entre tipos de edificaciones(casas, forma del terreno, características de los techos)</li> <li>• Elaboración de mapas a escala humana</li> <li>• Identificación de áreas agrícolas menores.</li> </ul>
10-15metros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación de cuarteles de una ciudad, edificios y calles principales.</li> <li>• Detalles de un área forestal</li> <li>• Identificación de minerales y áreas agrícolas.</li> </ul>
20-30metros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación de regiones urbanas, aeropuertos, autopistas y vías ferroviarias.</li> <li>• Identificación de lineamientos geológicos.</li> </ul>
80-100 metros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapas de estructuras geológicas regionales.</li> <li>• Mapas de grandes vías hidrológicas y extensas áreas forestales y agrícolas</li> </ul>

## Elección de la imagen siguiendo la Resolución Espectral.

Los diferentes elementos sobre la superficie terrestre varían su reflectancia de forma dispar en las distintas frecuencias de radiación incidente, haciendo posible su identificación. El volumen de mineral contenido, el nivel de humedad, la composición química, la estructura física y molecular de la vegetación, los rasgos geológicos y artificiales reflejan longitudes de onda diferente y a menudo de manera única. A estos patrones se los denominan “**firmas espectrales**”.

### Vegetación

La firma espectral de la vegetación es especialmente variable, dependiendo de múltiples factores: estado fenológico, forma y contenido en humedad.

**Bandas Visibles y UV cercano:** de manera general se puede decir que presenta una *reducida reflectividad en las bandas visibles*, con un máximo relativo en la región del **verde** (0.55  $\mu\text{m}$ ). Este comportamiento está relacionado al efecto absorbente de los pigmentos fotosintéticos de las hojas. Entre estos, la **clorofila** que absorbe en la zona del rojo. Por ese motivo, la vegetación no vigorosa se ve amarilla (verde + rojo) ya que la clorofila no absorbe tanto.

En la vegetación el nivel de reflectancia se ve modificado principalmente por factores como: los tipos de pigmentos, estructura de las hojas y el contenido de humedad. El primero afecta a las longitudes de ondas del espectro visible (0,4-0,7 m) donde el 65% es absorbido por la Clorofila, el 29% por la Xantofila y el 6% por Carotenos. La estructura de las hojas (capa esponjosa del mesofilo) a su vez aumenta la reflectividad en la zona del infrarrojo cercano (0,8-1,1 m).

Finalmente, entre los rangos 1,4 m-1,8 m (infrarrojo medio) la reflectividad depende del contenido de agua entre y dentro de las células, en condiciones de hidratación normales ambos valles son profundos y marcados, en condiciones de estrés hídrico, estos son menos marcados aumentando su reflectividad (Alonso & Moreno, 1999).

Si se analiza el comportamiento espectral del dosel vegetal, los factores que afectan su reflectividad son la proporción hojas, lignina y el efecto del suelo, la geometría de las hojas y los ángulos de observación de éstas (Manzano, 2004). La figura 19 muestra firmas espectrales para diferentes tipos de vegetación.

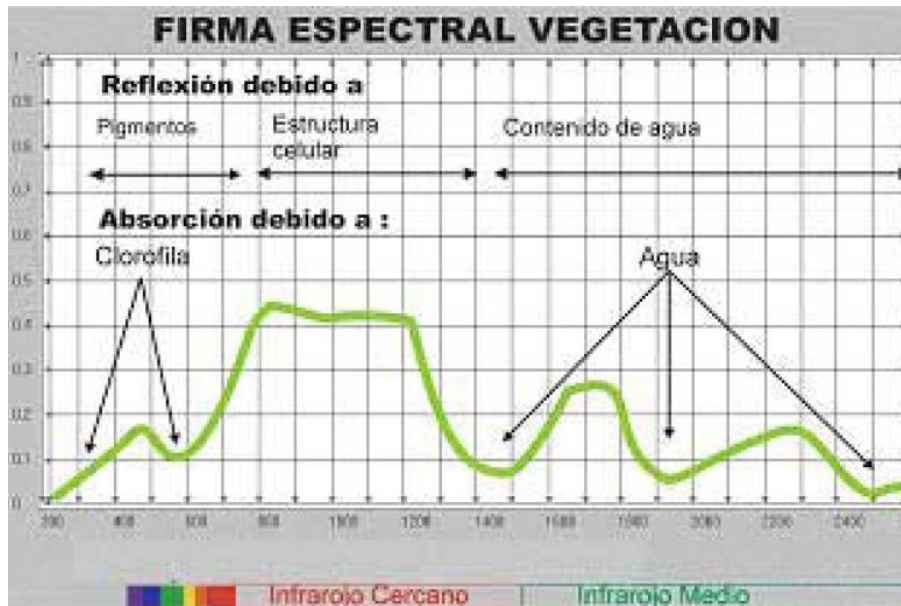


Figura 19. Firmas espectrales para diferentes tipos de vegetación

**Suelos**

Se debe mencionar que los suelos desnudos se detectan pocas veces, ya que en general se presentan en conjunto con vegetación.

Sin embargo, el comportamiento espectral de los mismos es mucho más uniforme que el de la vegetación. En principio, la **mayor parte de la energía recibida por el suelo es absorbida o reflejada** y muy poca es transmitida. Los principales factores que intervienen en este caso son la composición química del suelo, su textura y estructura y el contenido en humedad.

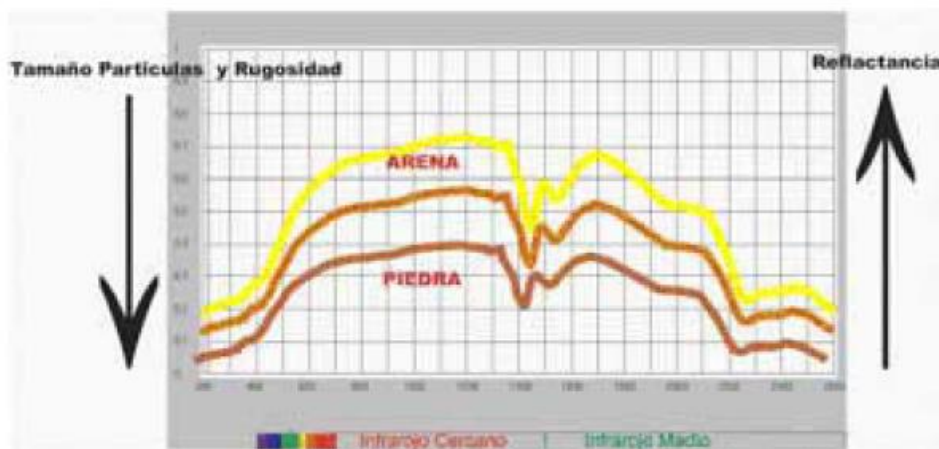


Figura 20. Tendencia Espectral Tipos de Suelo

### Agua

El agua **absorbe o transmite la mayor parte de la radiación visible que recibe**. Solo menos del 5% de la energía que recibe es transmitida. Por tanto, presenta una curva espectral plana, baja y de sentido descendente.

Los factores que afectan la respuesta espectral son: **la profundidad, el contenido de materias en suspensión** (clorofila, arcillas y nutrientes) y **la rugosidad de la superficie** (factor extremadamente importante).

En aguas **poco profundas** con presencia de **humus** en descomposición, **típico** de escenas en áreas agrícolas, *la reflectividad aumenta*. **Hace decrecer la respuesta en el azul y aumenta la respuesta en el rojo**.

Por otra parte, agua con **gran** cantidad de **clorofila** puede producir una respuesta espectral similar al de la *vegetación*.

Lo mismo sucede ante la presencia de **arena, roca, o cualquier otro tipo de sedimento**: *hace crecer la respuesta del agua en el visible y en infrarrojo cercano*.

### Nieve

La nieve ofrece un comportamiento completamente diferente del agua, con una reflectividad **elevada en las bandas UV y visible, reduciéndose drásticamente en el infrarrojo cercano**.



Figura 21. Firma espectral nieve



## Obtención de las imágenes Satelitales.

Después de analizar los requerimientos para la solución de este problema, se optó por conseguir imágenes con una resolución espacial encima de 15 metros, debido a que se realizará una clasificación por la reflejancia del tipo de suelo. Otro aspecto a considerar es que las imágenes LanSat, si cuentan con la Banda espectral 1 que se refiere al UV cercano.

Por lo tanto, se bajaron imágenes satelitales LanSat, para hacer comparaciones con datos medidos; se trabajó con estas imágenes porque son de libre acceso. El procesamiento se desarrolló con el software ENVI.

Después, la base de datos generada, se procesó en GIS para presentar la información en forma de mapas.

## Procesamiento imágenes Satelitales.

### Análisis imagen LanSat7

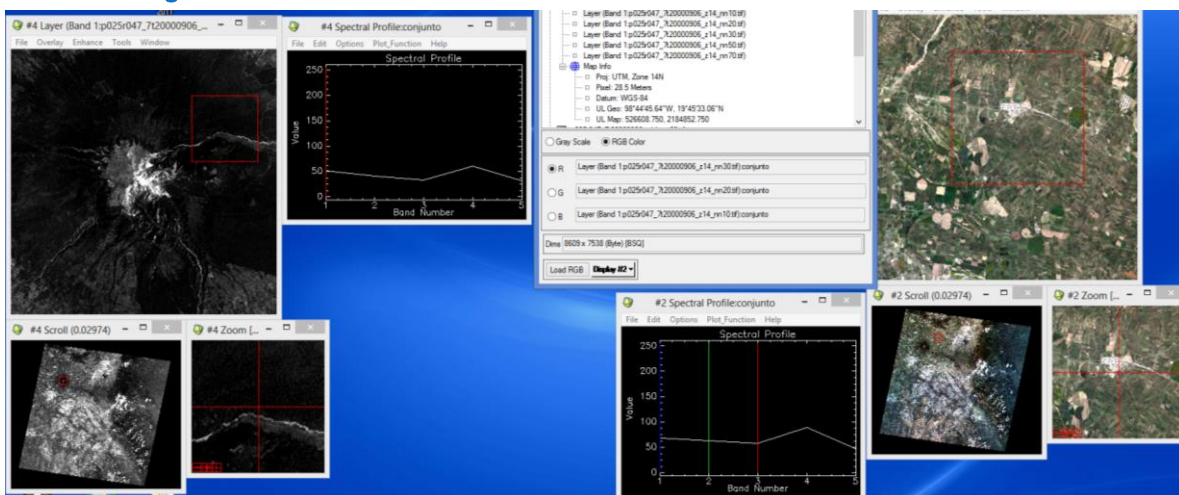
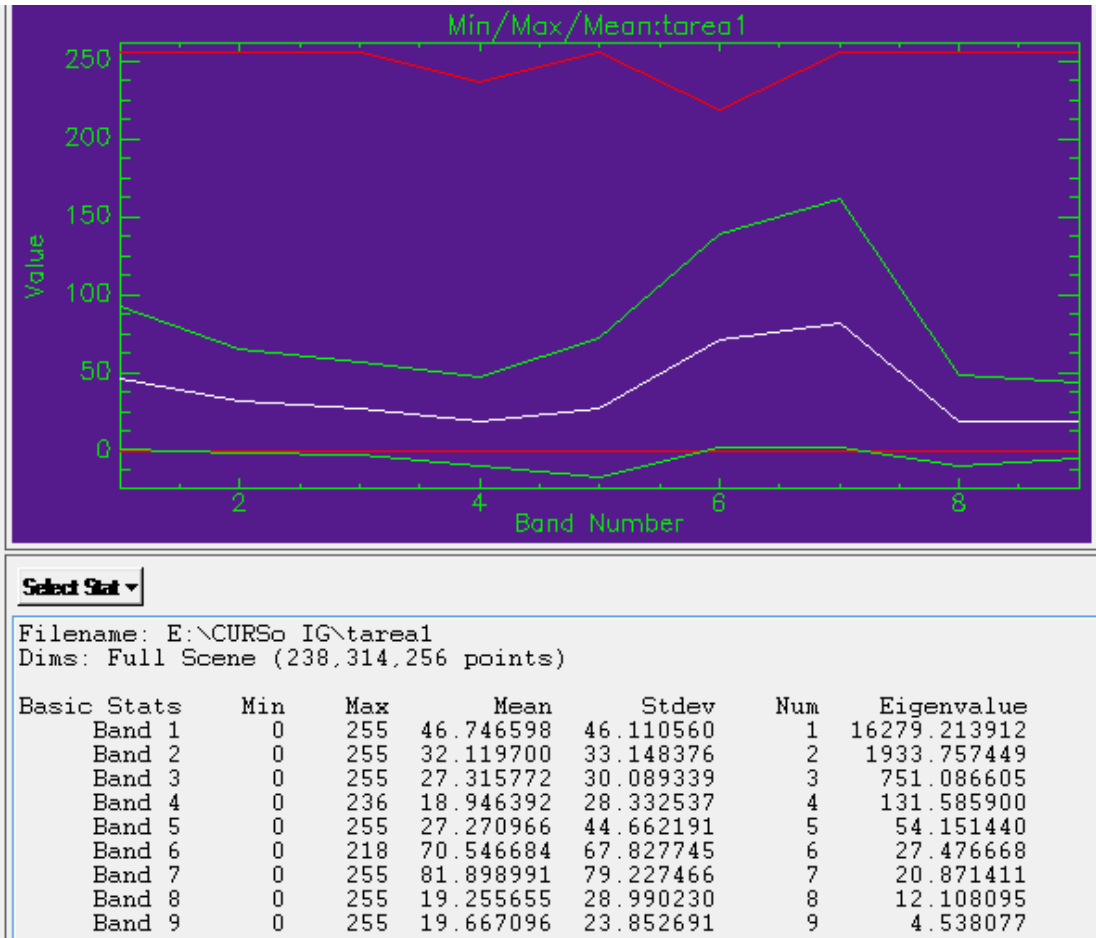


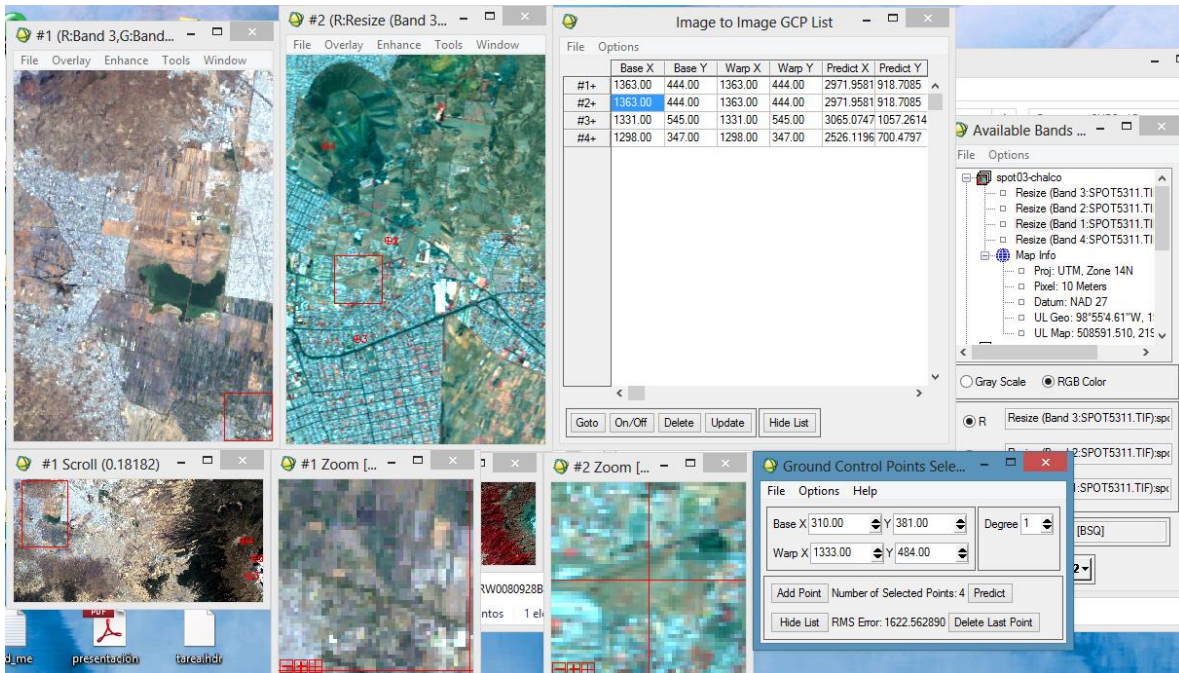
Figura 22. Procesamiento imágenes LanSat

Interpretación de Resultados Estadísticos



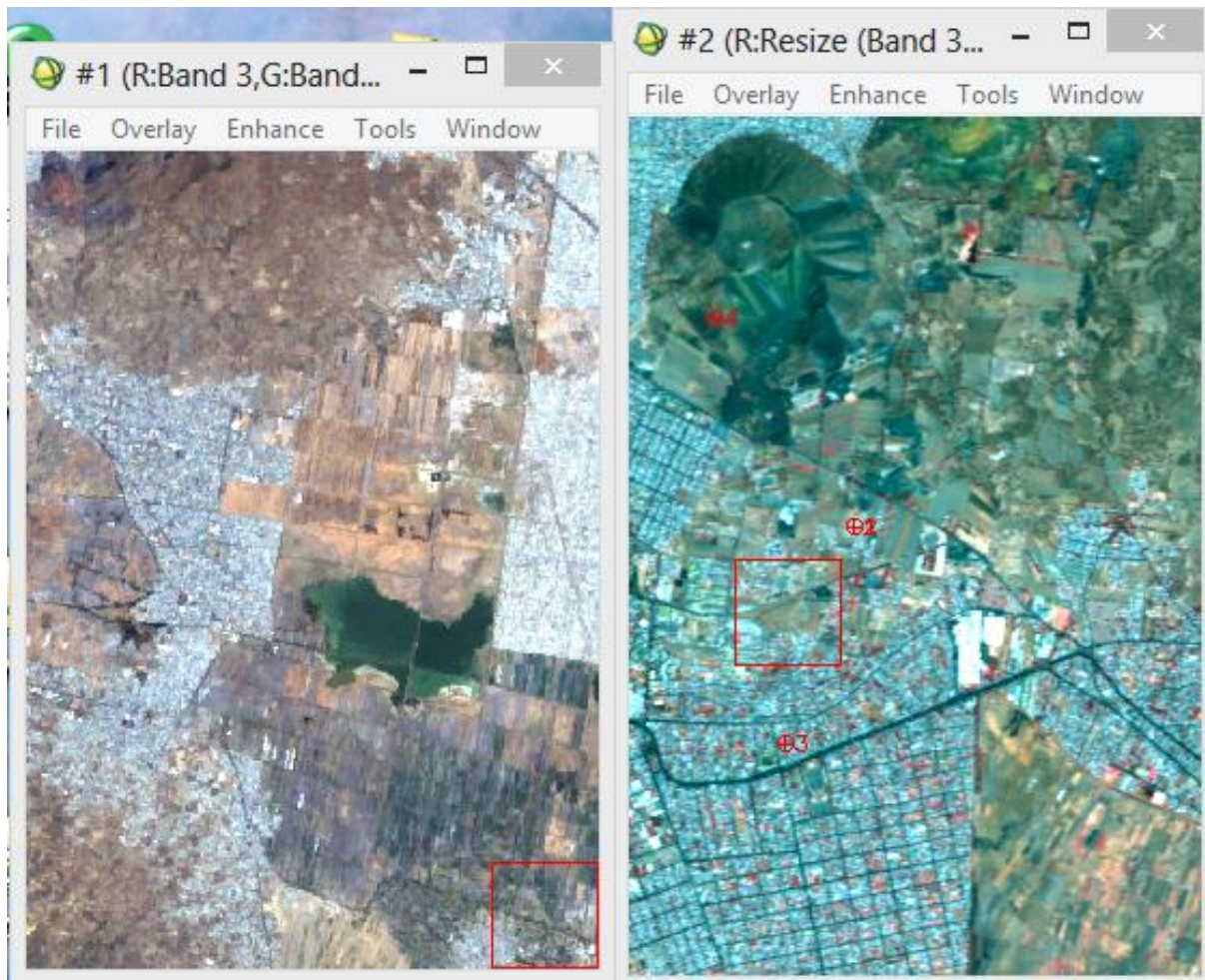
El valor máximo de cada banda es 255, debido a la resolución que es de 8bits del sensor, lo que implica que 255 sea el mayor valor digital, que implicará un valor máximo de irradiancia en el espectro que le corresponde a cada banda. La banda 7 es la más representativa ya que tiene la mayor desviación estándar.

Georreferenciación de las imágenes LanSat.



\*Para este trabajo se usaron imágenes satelitales LANSAT, que son imágenes de libre acceso, el procesamiento se está llevando a cabo con el software ENVI y estos datos se enriquecen con los datos generados por Perez.(SolarAnywhere)

Resultados Obtenidos



Se comenzó el análisis en el la Ciudad de México

En donde de acuerdo a las imágenes satelitales, se tiene una clasificación como la siguiente:

Tipo de Suelo	% Albedo en el UV cercano
Zona Conurbada, Asfalto, cemento	20%
Suelo desnudo	10%
Pastizales	5%
Cuerpos de agua	5%
Nieve	80%

Tabla 6. Clasificación de Albedo por tipo de Suelo

Se fueron obteniendo las respuestas espectrales de cada imagen satelital y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

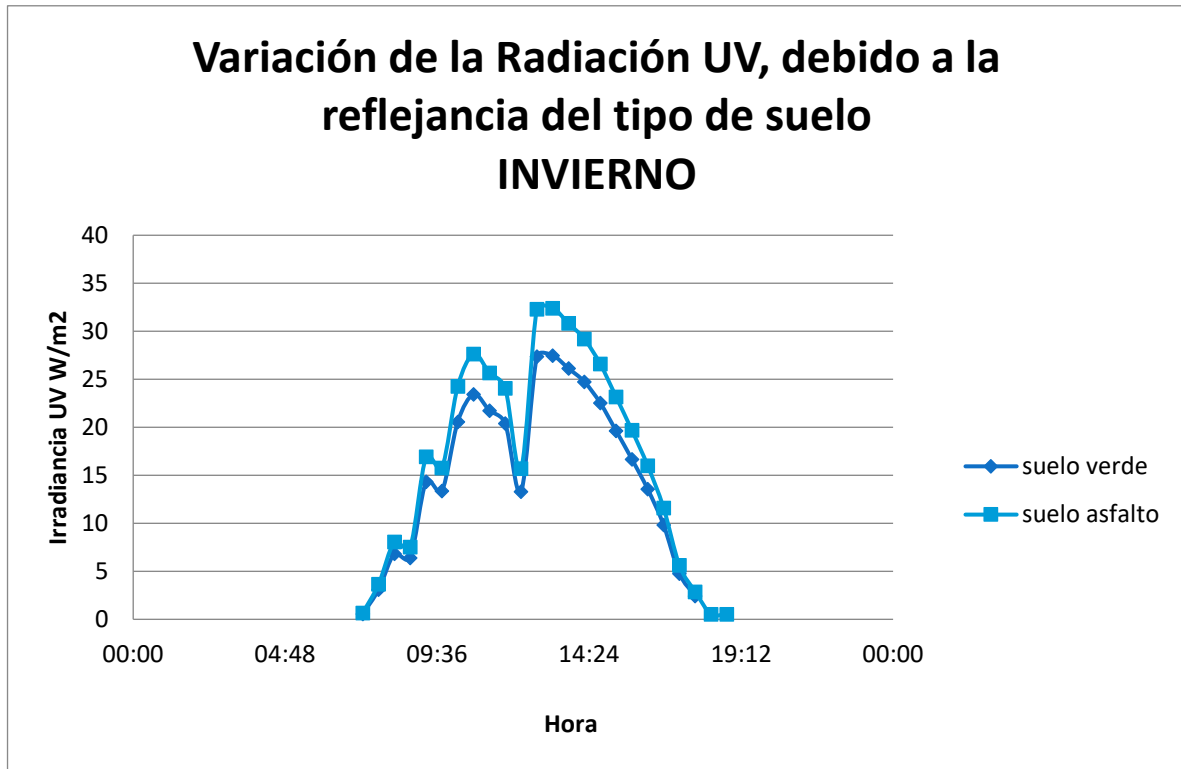


Figura 23. Variación de la Radiación UV, debido a la reflejancia del tipo de suelo  
INVIERNO

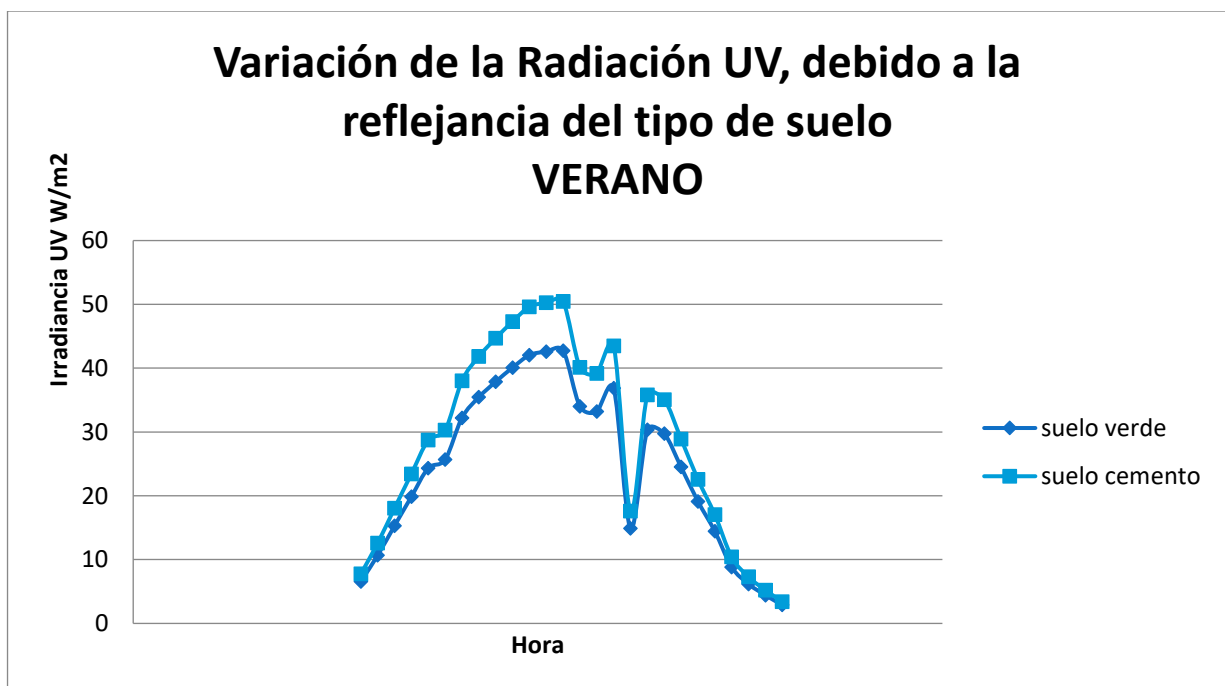


Figura 24. Variación de la Radiación UV, debido a la reflejancia del tipo de suelo, verano

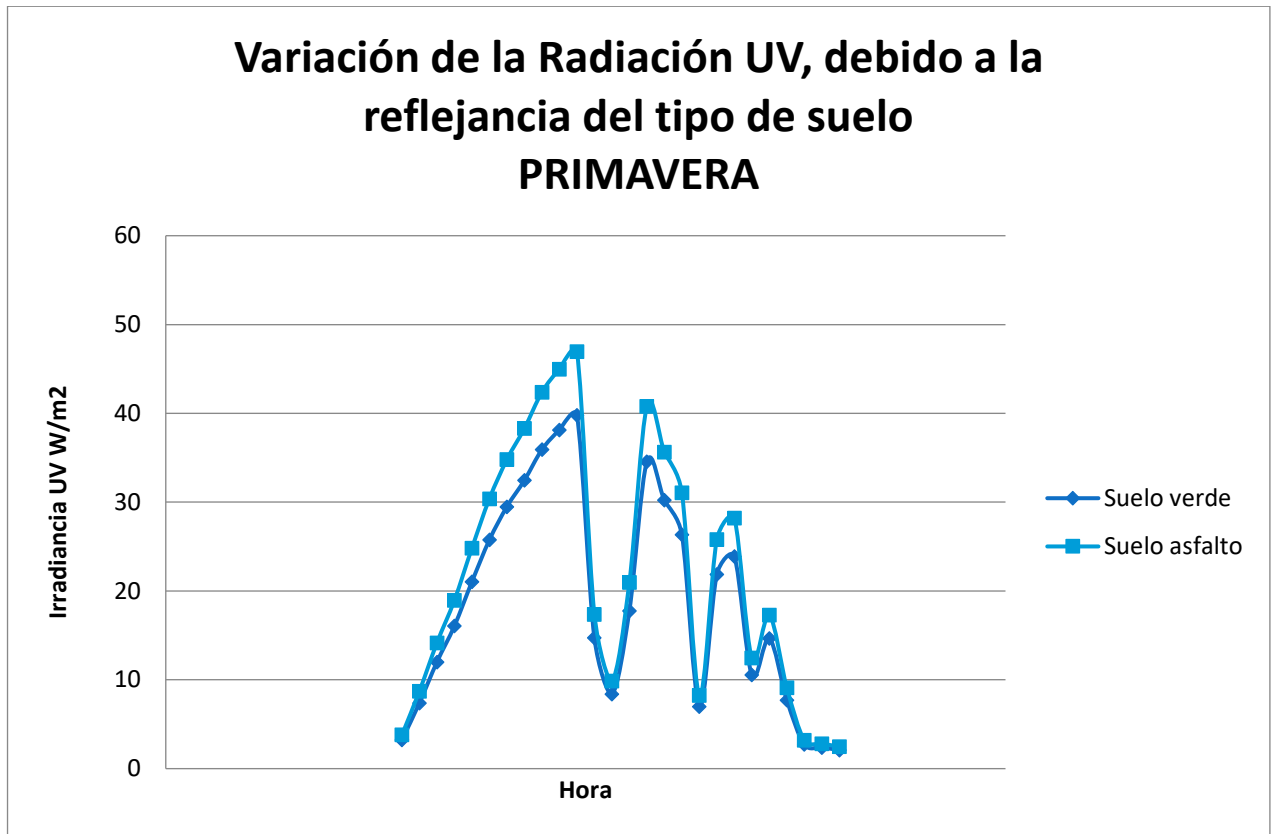


Figura 25. Variación de la Radiación UV, debido a la reflejancia del tipo de suelo

Primavera

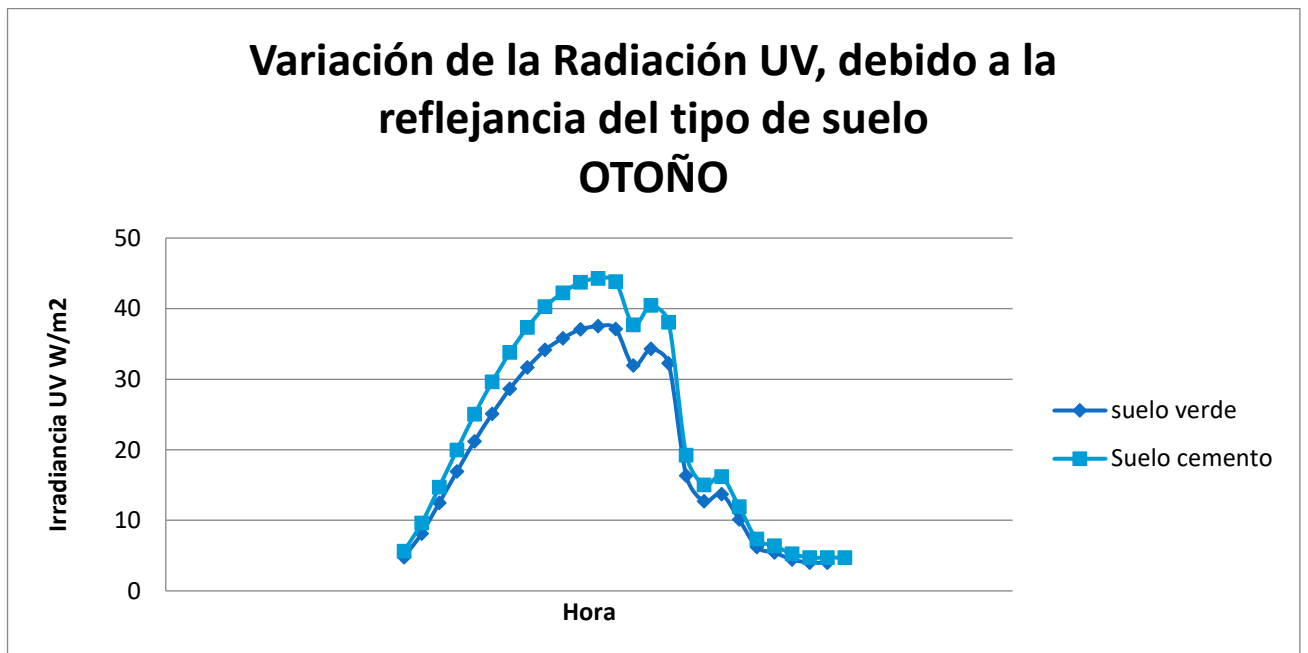
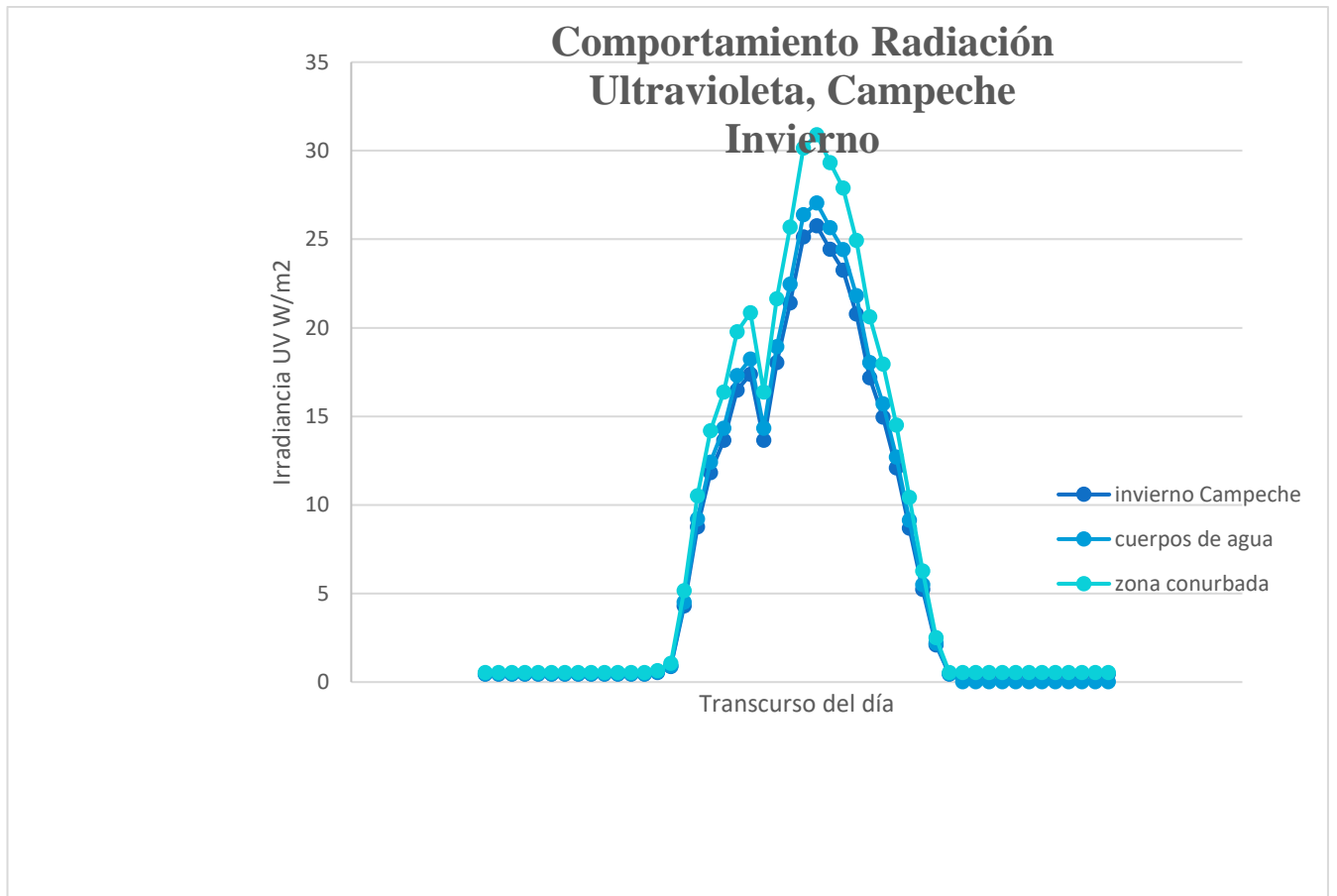
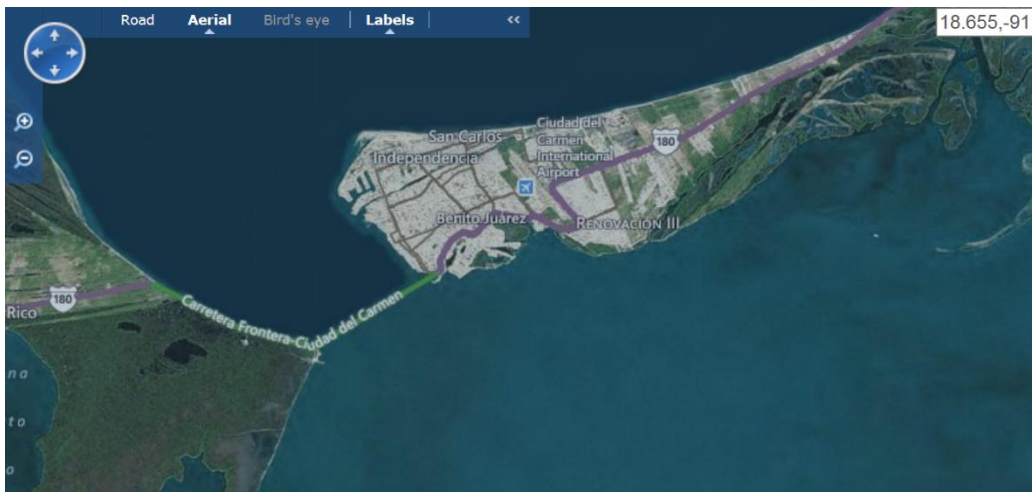


Figura 26. Variación de la Radiación UV, debido a la reflejancia del tipo de suelo,otoño

**CAMPECHE**



**Figura 27. Comportamiento Radiación Ultravioleta, Campeche Invierno**

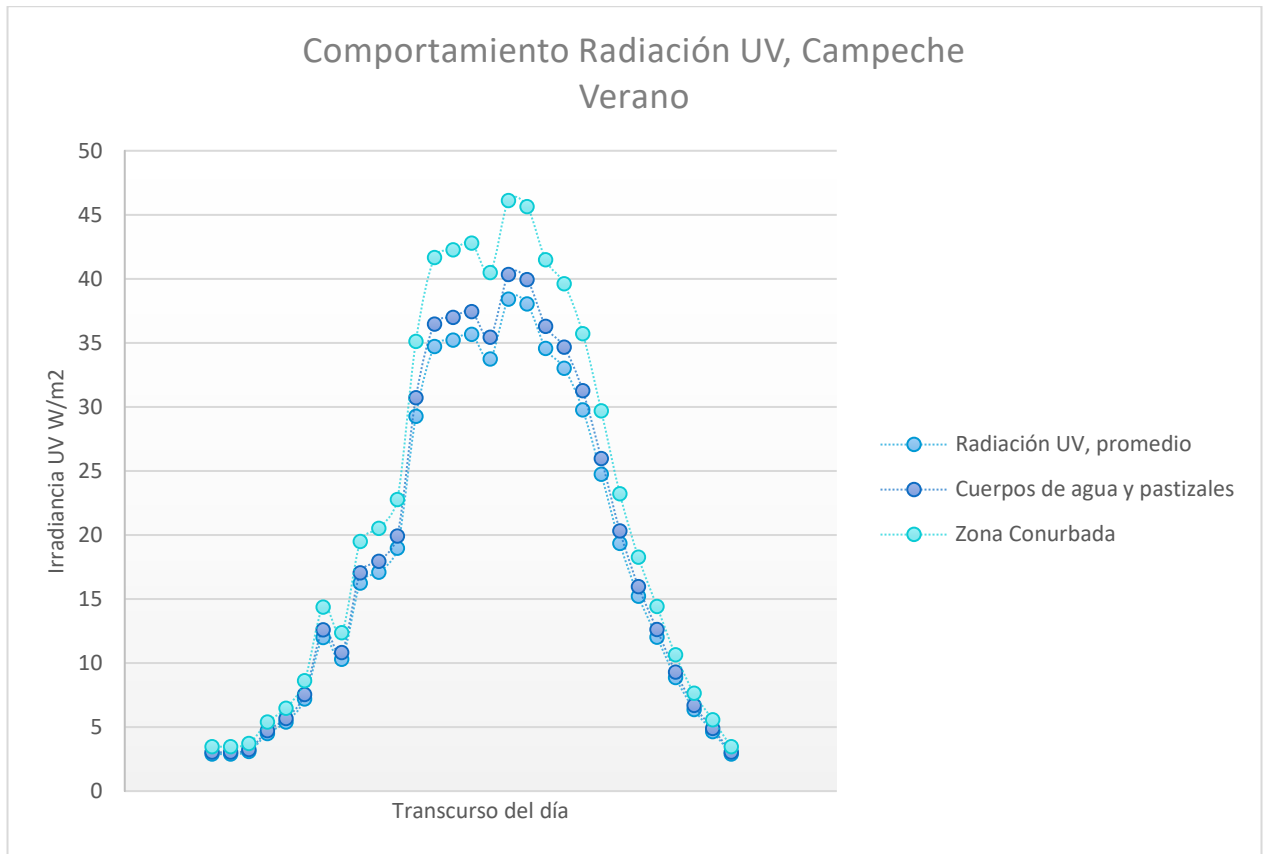
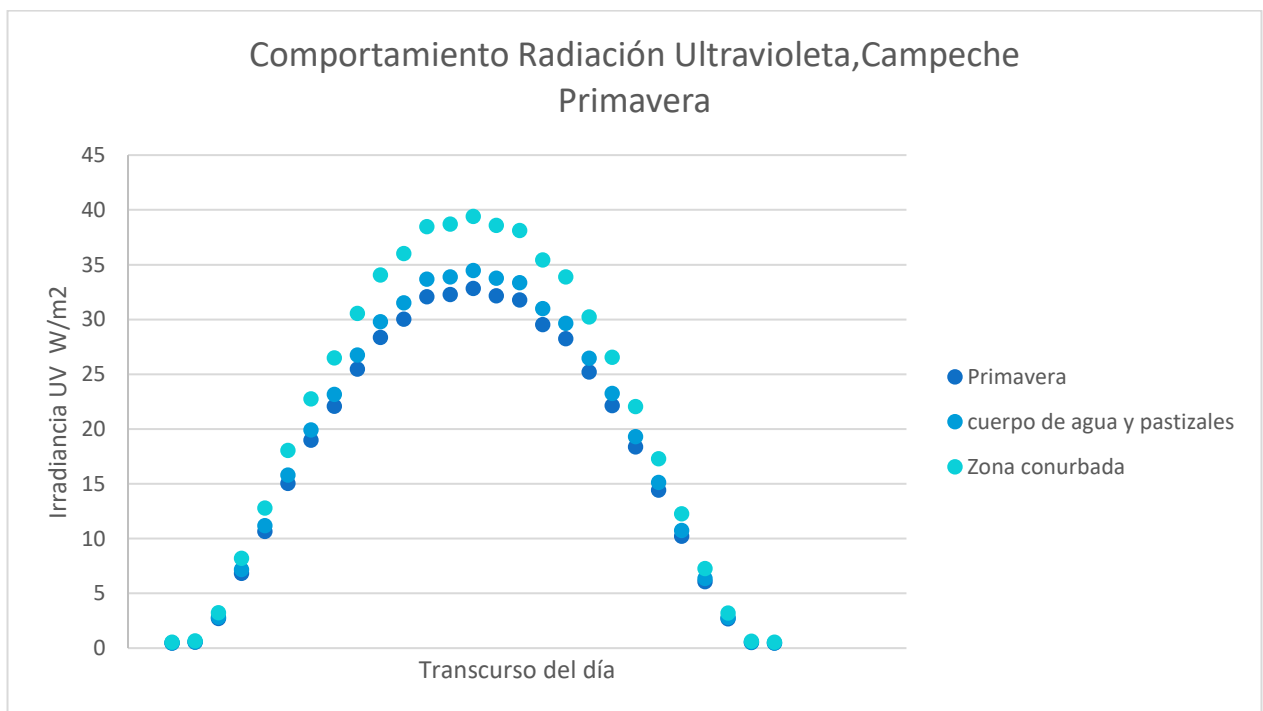
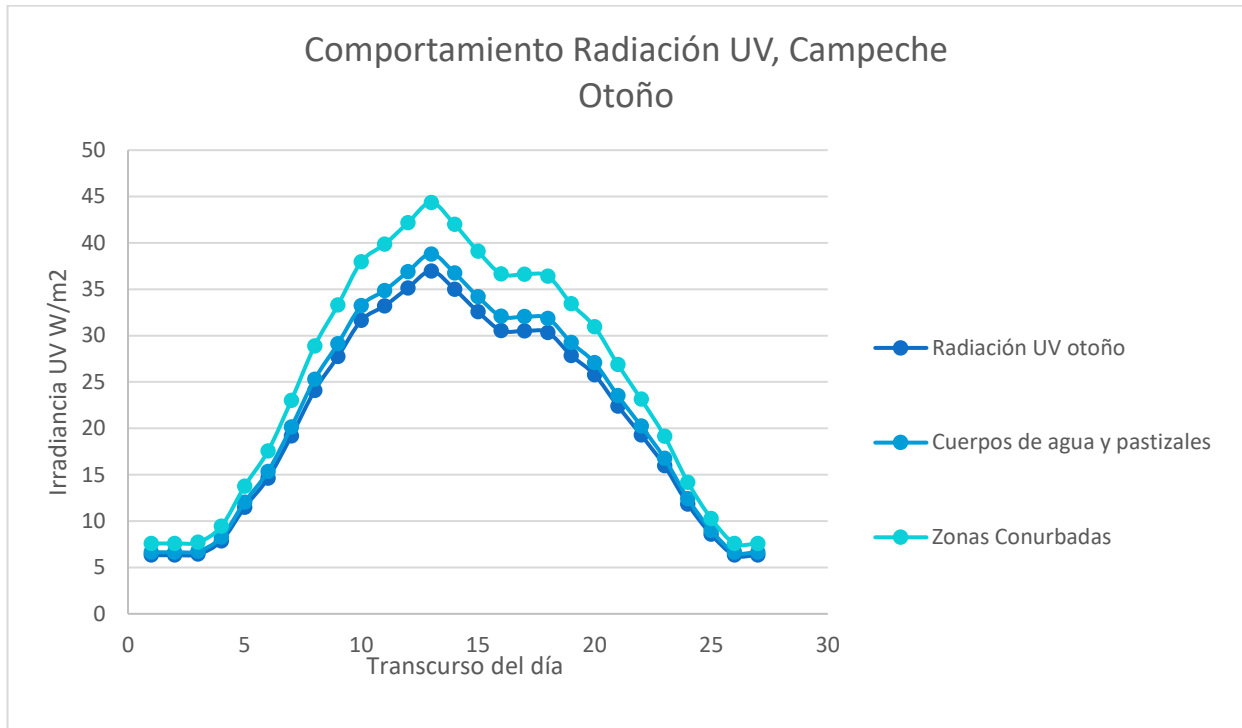


Figura 28. Comportamiento Radiación Ultravioleta, Campeche Verano





**Figura 29. Comportamiento Radiación Ultravioleta, Campeche Primavera**



**Figura 30. Comportamiento Radiación Ultravioleta, Campeche Otoño**

SONORA

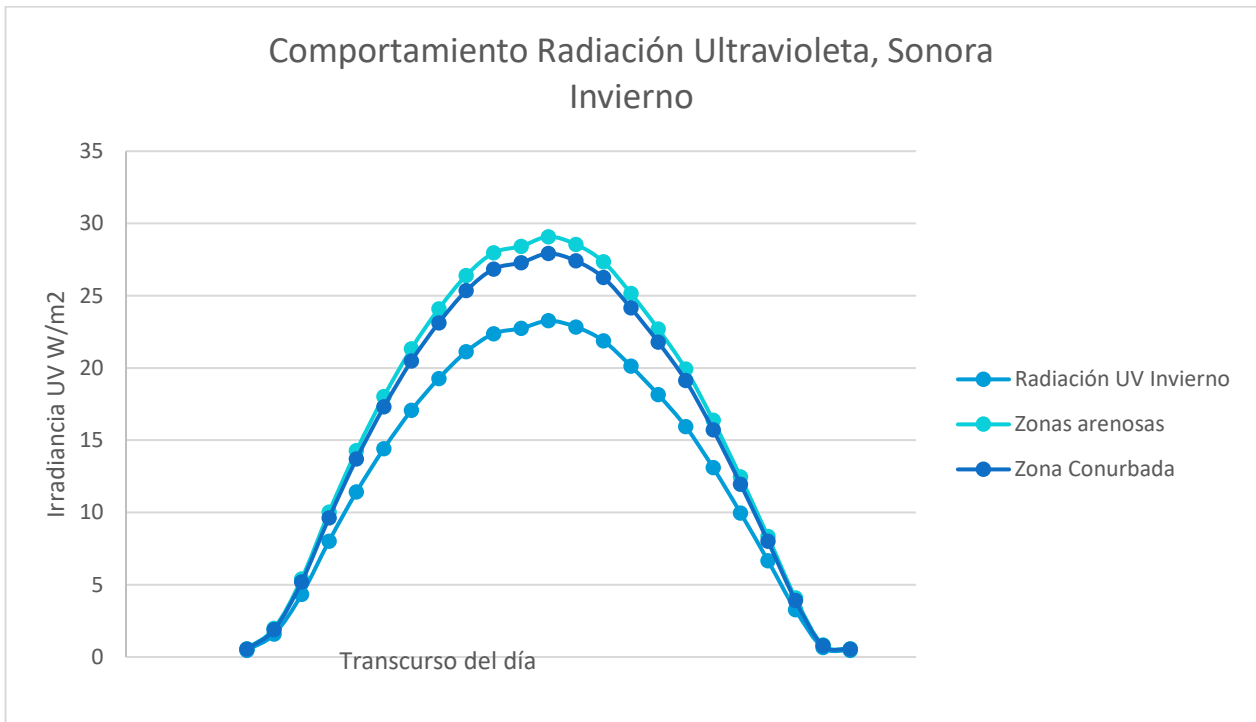
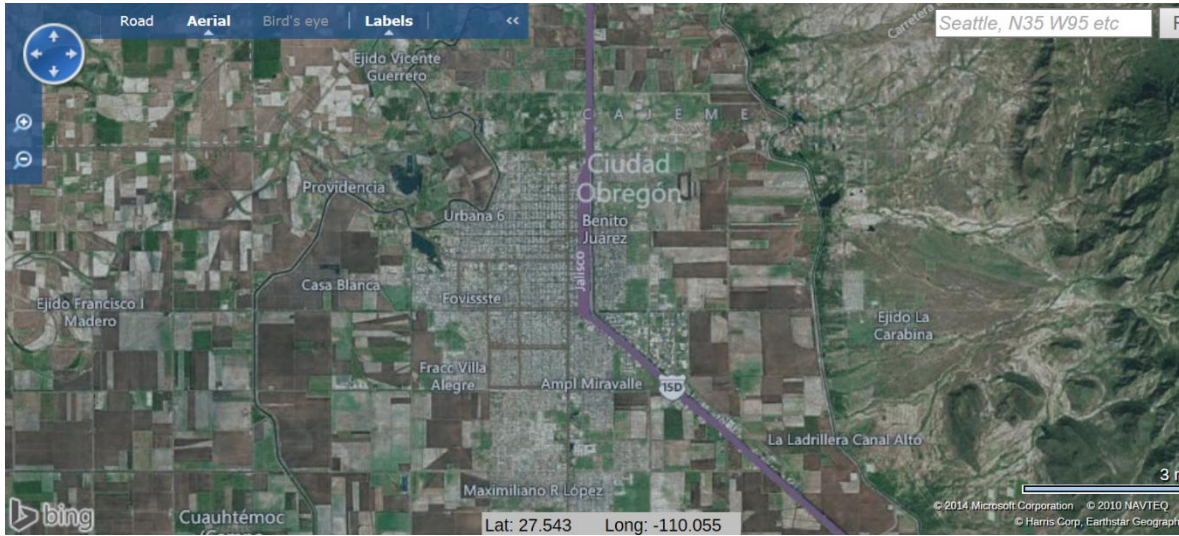
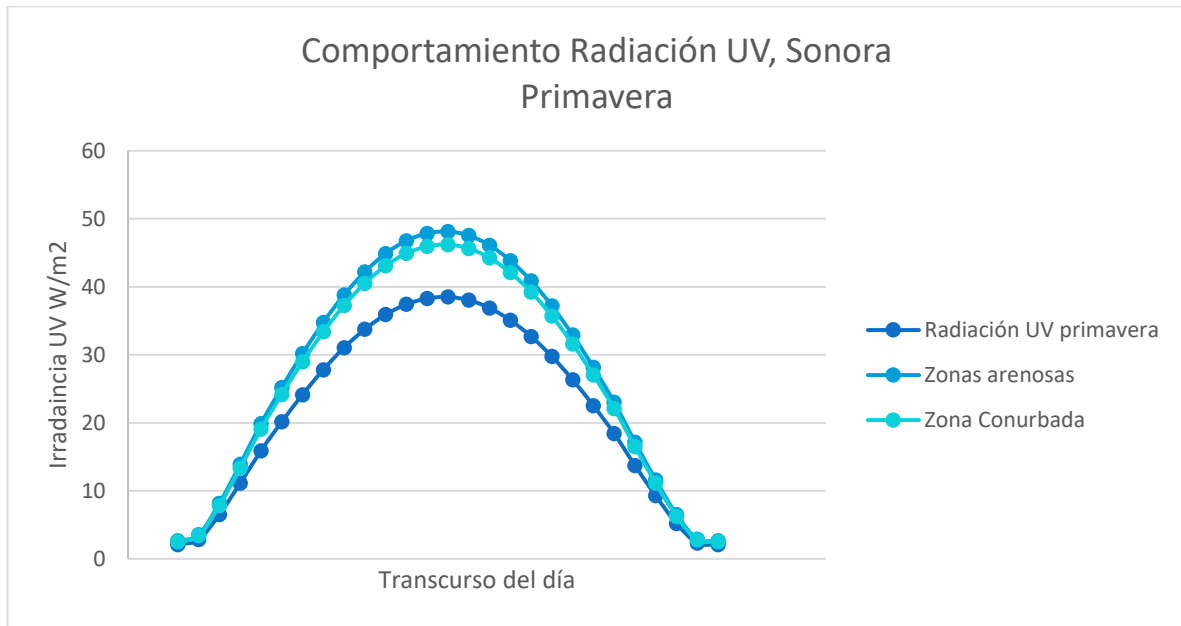


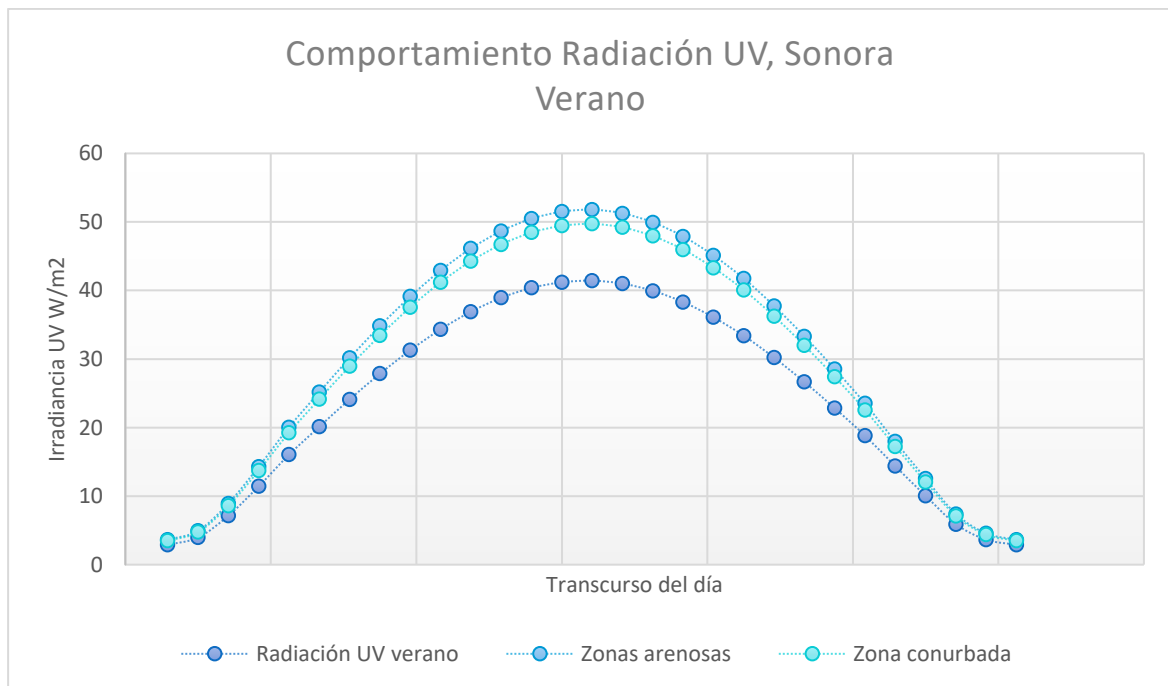
Figura 31. Comportamiento Radiación Ultravioleta, Sonora

Invierno



**Figura 32. Comportamiento Radiación Ultravioleta, Sonora**

**Primavera**



**Figura 33. Comportamiento Radiación Ultravioleta, Sonora**

Verano

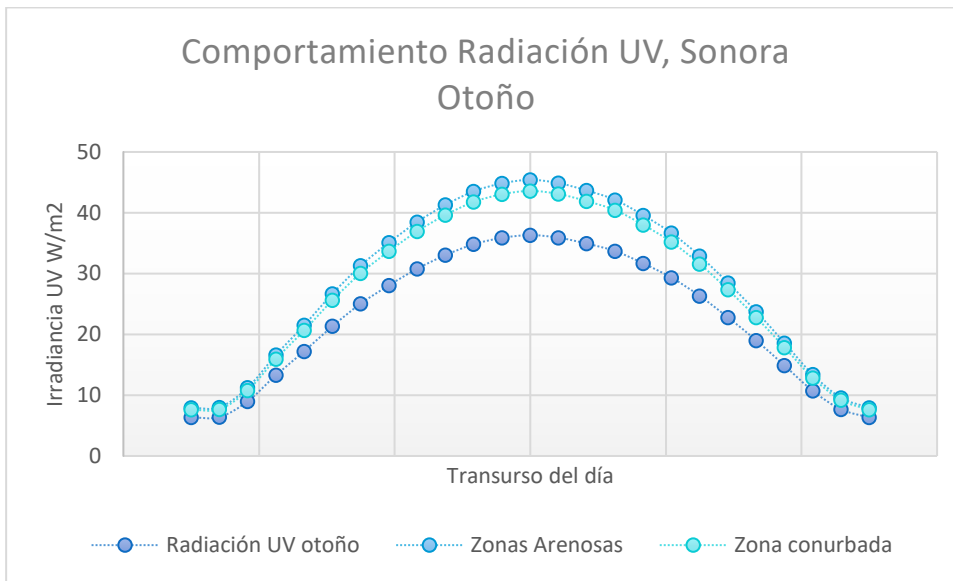


Figura 34. Comportamiento Radiación Ultravioleta, Sonora

Otoño

Con el procesamiento digital de las imágenes se obtiene que la radiación ultravioleta aumenta alrededor de un 25% en zonas conurbadas en donde predomina la construcción con cementos, espejos y asfaltos, mientras que en suelos de tipo arenosos aumenta alrededor de un 28%, para el caso de suelos tipo pastizales o donde predomina la vegetación el albedo debido a este tipo de suelo es de alrededor un 5%. En esta etapa se presentan resultados para Campeche, Sonora, el nevado de Toluca y la Malinche.

### Análisis del Incremento de la Radiación UV con la altitud

Aparte de un cielo parcialmente nublado y una constante de turbiedad atmosférica, la altitud es otro parámetro de gran influencia sobre la radiación UV que incide sobre la superficie terrestre. Generalmente, la radiación solar se incrementa con el incremento de la altitud debido a una masa óptica más pequeña. Comparando con altitudes bajas, la radiación en las altitudes altas atraviesa una capa de atmósfera más delgada. A este fenómeno del incremento de la radiación solar con respecto a la altitud es conocido como efecto altitud con siglas en ingles AE y es usualmente dado como un incremento en la irradiación en porcentaje por 1000 metros distancia relativa del valle.

$$AE = \left( \frac{Im}{Iv} - 1 \right) \times \frac{\Delta(Altitud)}{1000m} \times 100\%$$

Tomando en cuenta este parámetro se ha comenzado a estudiar la radiación UV en los picos más importantes de México.

En esta etapa se han estudiado La malinche, en Puebla y el Nevado de Toluca y los resultados obtenidos, se muestran a continuación.

#### La Malinche Tlaxcala y Puebla

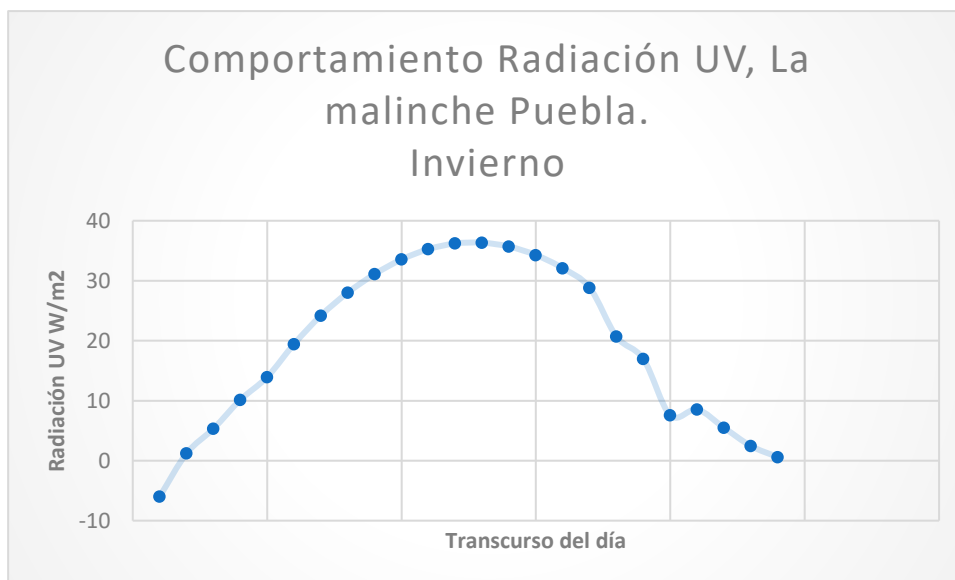
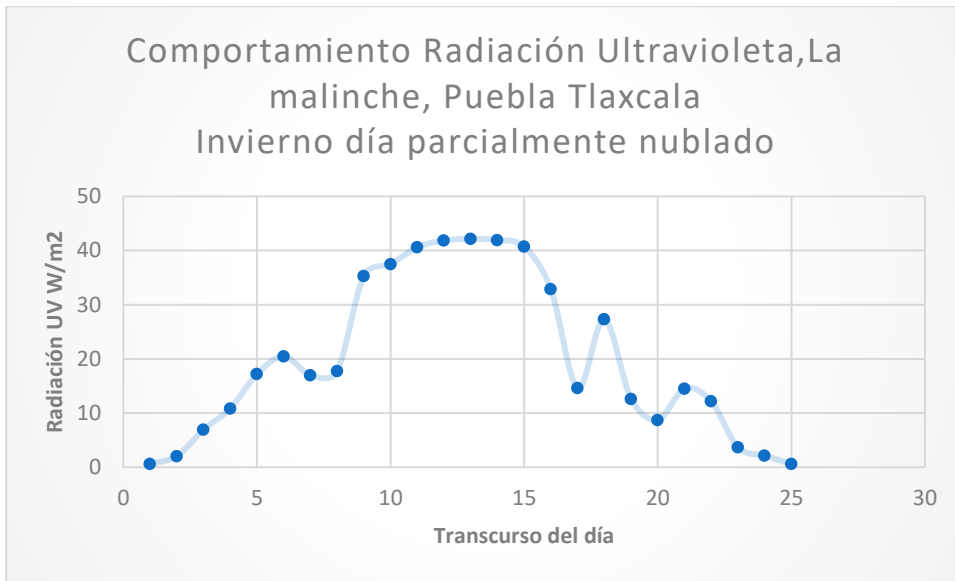
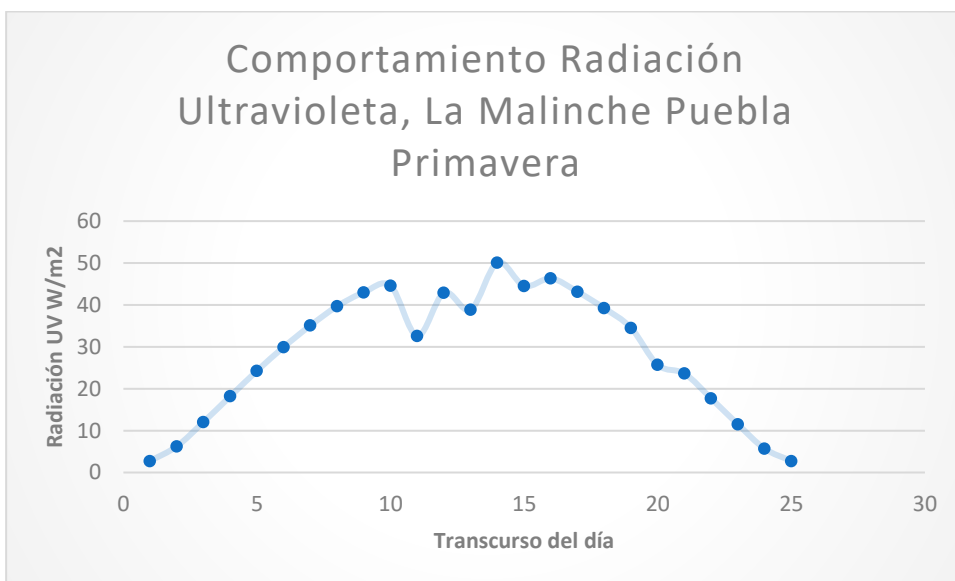


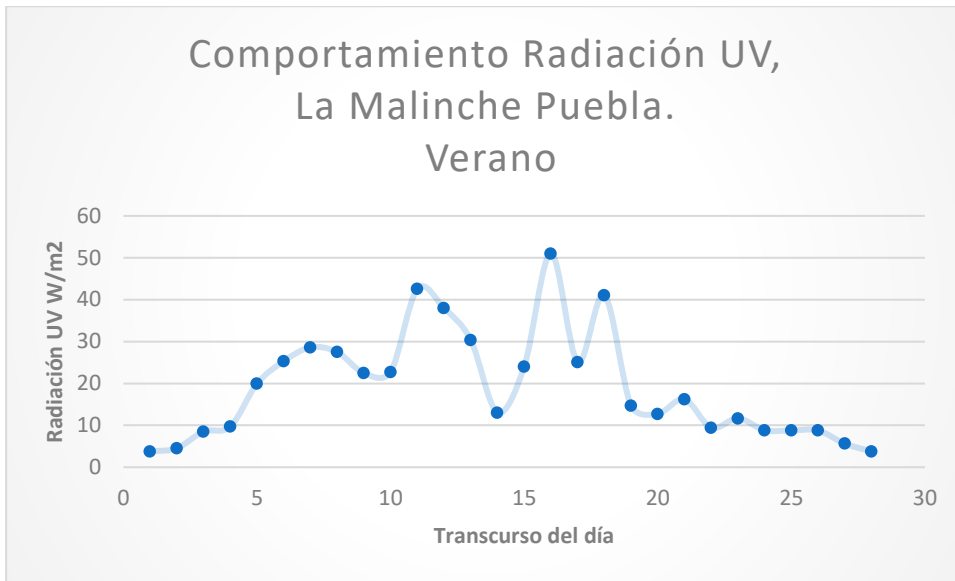
Figura 35. Comportamiento Radiación UV, La malinche Puebla. Invierno



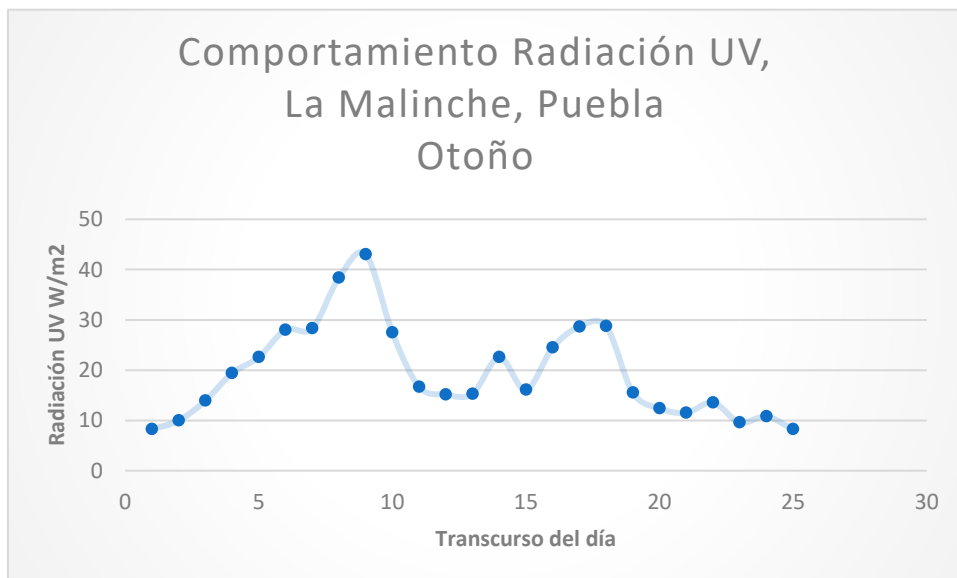
**Figura 36. Comportamiento Radiación UV, La malinche Puebla. Invierno día parcialmente nublado**



**Figura 37. Comportamiento Radiación Ultravioleta, La Malinche Puebla Primavera**

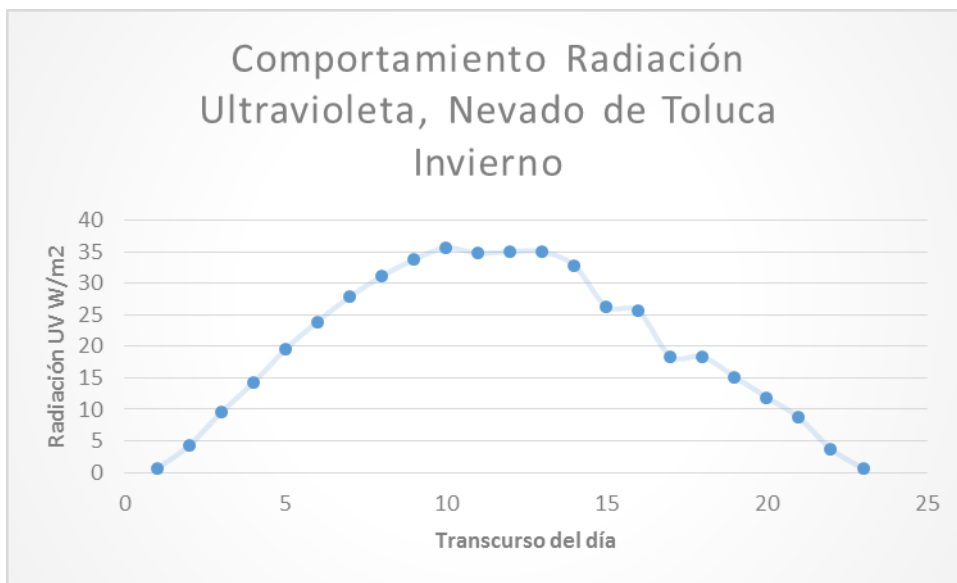
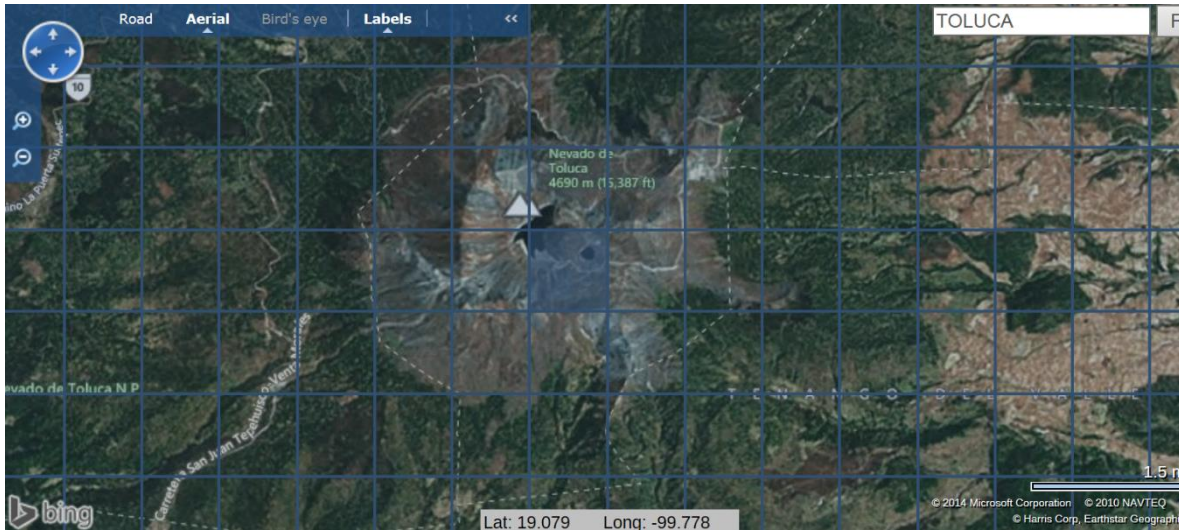


**Figura 38. Comportamiento Radiación Ultravioleta, La Malinche Puebla Verano**



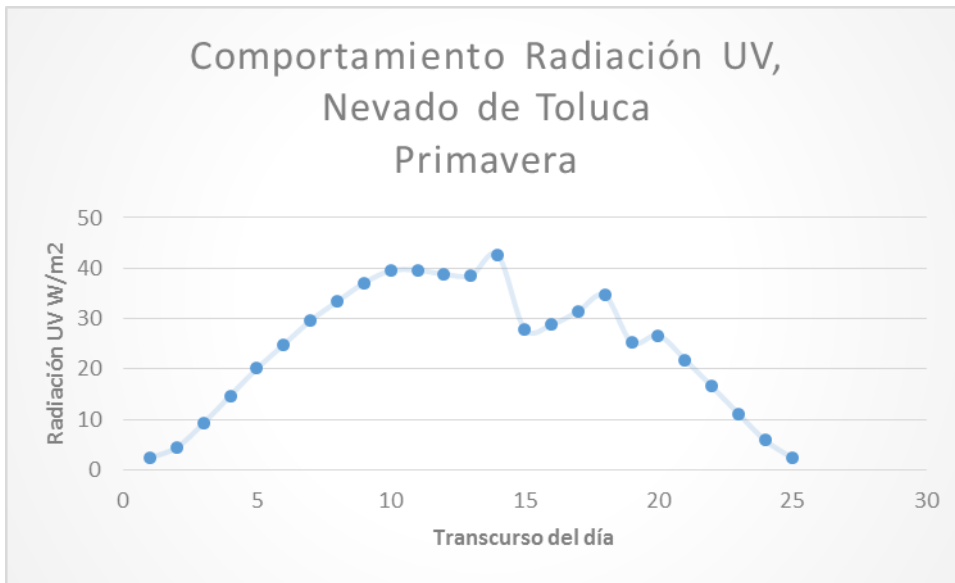
**Figura 39. Comportamiento Radiación Ultravioleta, La Malinche Puebla Otoño**

**Nevado de Toluca**

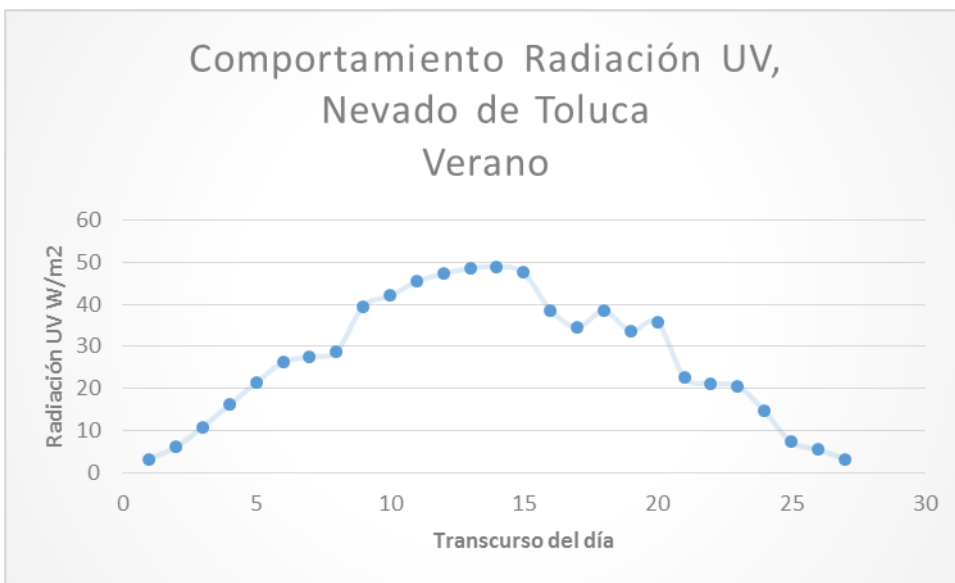


**Figura 40. Comportamiento Radiación Ultravioleta, Nevado de Toluca, invierno**





**Figura 41. Comportamiento Radiación Ultravioleta, Nevado de Toluca, primavera**



**Figura 42. Comportamiento Radiación Ultravioleta, Nevado de Toluca, verano**

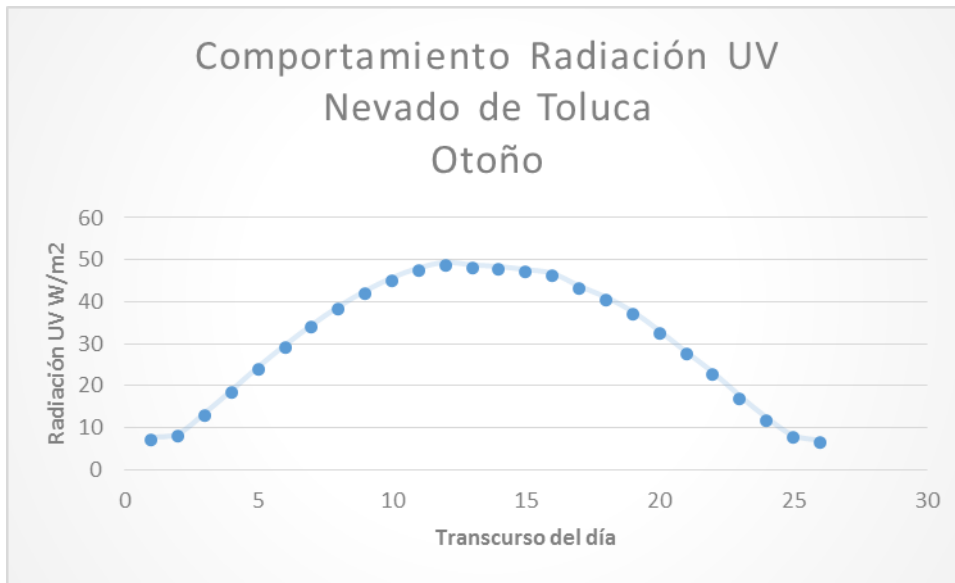


Figura 43. Comportamiento Radiación Ultravioleta, Nevado de Toluca, otoño

Con estos datos obtenidos se obtuvieron las siguientes conclusiones:

Efecto de la altitud	Verano % cada 1000metros	Otoño % cada 1000metros	Invierno % cada 1000metros	Primavera % cada 1000metros
UVA	9±2	14±4	11±5	15±4

Por lo tanto, debido al efecto de la altitud, la radiación ultravioleta aumentara cada 1000 metros alrededor de un 15% aproximadamente tomando en cuenta que en donde hay una mayor variación es en la época de la primavera.

## Diseño de un mapa interactivo de radiación UV, utilizando la plataforma QGIS

### RESUMEN

A lo largo de ocho años en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México se han tomado muestras de radiación solar global, directa, difusa y ultravioleta en distintos puntos de la República Mexicana, la toma de muestras ha sido in situ así como de información satelital, lo que ha generado una base de datos del IINGEN para proporcionar información relativa al comportamiento de la radiación solar sobre la República Mexicana, todo esto con el objetivo de generar información que sirva para caracterizar el comportamiento de la radiación solar, principalmente el espectro de radiación ultravioleta. Lo que genera información como mayor índice ultravioleta por región, tiempo máximo de exposición a la radiación UV de acuerdo a la piel de un mexicano, grado de envejecimiento de los materiales (principalmente paneles fotovoltaicos)

Por lo tanto, se desarrolló un mapa interactivo de radiación ultravioleta, utilizando la plataforma QGIS debido a que nos proporciona herramientas geográficas de análisis estadístico por puntos, líneas y polígonos, además que es un software de libre acceso.

QGIS también nos proporciona un ambiente amigable para el desarrollo de procesos escritos en el lenguaje de programación Python y permite establecer una conexión óptima con cualquier base de datos manejada con PostgreSQL.

Como ya se comentó esta interfaz también permite que el usuario obtenga información para el estudio de envejecimiento de paneles solares fotovoltaicos y tiempo máximo de exposición de radiación solar. El mapa otorga gráficas de radiación global y ultravioleta de determinados puntos de la República Mexicana con un factor de albedo de los distintos tipos de suelos incluidos en el programa o ya sea proporcionado por el usuario.

### Radiación Ultravioleta a partir de radiación global

Para la obtención de los datos de radiación ultravioleta a partir de la radiación global, es importante conocer tanto la radiación global, así como la altura de cada lugar.

El modelo que utiliza el desarrollado por Quiñones (Quiñones A., Alamanza R."Modeling UV radiation over Mexican Conditios" 2014,Energy Procedia Vol 57, 1220-1226.

$$UV_{invierno} = 0.033 \times G + \left[ 0.462 + \left( \frac{h}{2324-1} \right) \right] \times 0.01 \quad (1)$$

$$UV_{primavera} = 0.036 \times G + \left[ 2.109 + \left( \frac{h}{2324-1} \right) \right] \times 0.01 \quad (2)$$

$$UV_{verano} = 0.039 \times G + \left[ 2.9 + \left( \frac{h}{2324-1} \right) \right] \times 0.01 \quad (3)$$

$$UV_{otoño} = 0.035 \times G + \left[ 3.33 + \left( \frac{h}{2324-1} \right) \right] \times 0.01 \quad (4)$$

Donde; G es radiación global y h es altura.

### Sobre la base de datos

La estación radiométrica del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. recolecta información referente a la radiación global, radiación directa y radiación difusa del lugar en donde se encuentra instalado. En este caso de Ciudad Universitaria. Todos estos datos están almacenados en una base de datos manejada por PostgreSQL junto con diversos puntos de la República Mexicana. Para el cálculo de la radiación ultravioleta se toma la altura del lugar y la radiación global de la base de datos, se efectúa la operación en un programa escrito en Python y se almacena en un nuevo campo para cada registro en cada punto.

El diseño de la base de datos BIOMETRO consta de dos modelos para las tablas de la base. El primer modelo es utilizado exclusivamente para la tabla POINTS. Esta tabla almacenará información geográfica referente a un determinado punto de la República Mexicana. El diseño lógico de este modelo está representado en la figura 44.

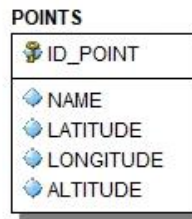


Figura 44. Diseño lógico de la tabla POINTS.

Por otra parte, el segundo modelo es utilizado para las tablas que hacen referencia a los puntos almacenados en la tabla POINTS. La tabla de cada punto va a guardar las muestras obtenidas a lo largo del año del lugar respectivo. Esto quiere decir que en la base va a existir una tabla por cada registro de la tabla POINTS. Cada tabla tendrá por título el valor del campo NAME de la tabla POINTS. El diseño lógico de dicho modelo está representado en la figura 45.

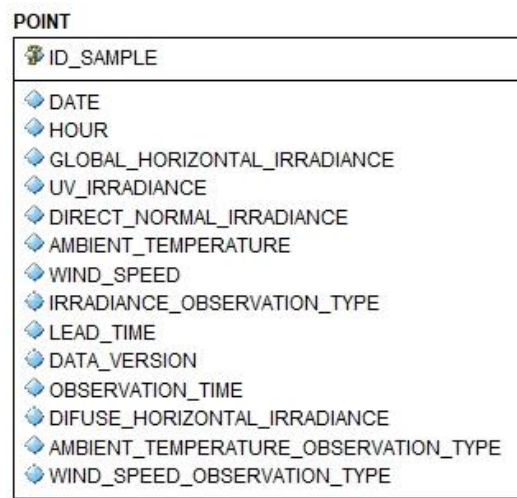


Figura 45. Diseño lógico del modelo POINT.

### LA PLATAFORMA QGIS

QGIS es un software que nos permite representar datos espaciales de manera gráfica a partir de archivos vectoriales. La plataforma nos permite representar datos de un determinado punto, línea o polígono. El programa cuenta con soporte para el lenguaje de programación Python. También provee una interfaz para conectar bases manejadas en PostgreSQL.

En primer lugar, es preciso mencionar que para el diseño del mapa interactivo utilizamos como base la capa vectorial División política estatal de México 1:250000 Versión 4

proporcionada por el geoportal de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Dicha capa se muestra a continuación en la figura 46.



**Figura 46. División política estatal de México 1:250000 Versión 4**

De la tabla POINTS de la base de datos debemos obtener los datos geográficos de cada registro para poder plasmarlos dentro de un archivo vectorial. El siguiente paso es agregar una nueva capa vectorial en donde se representen gráficamente en el mapa los puntos de la base para así poder mostrar la información estadística referente a la radiación global y ultravioleta de cada punto. Este proceso se lleva a cabo mediante un programa escrito en Python, el cual utiliza la biblioteca psycopg2. Ya cargados los puntos, el mapa se visualiza de la siguiente manera en la figura 47.

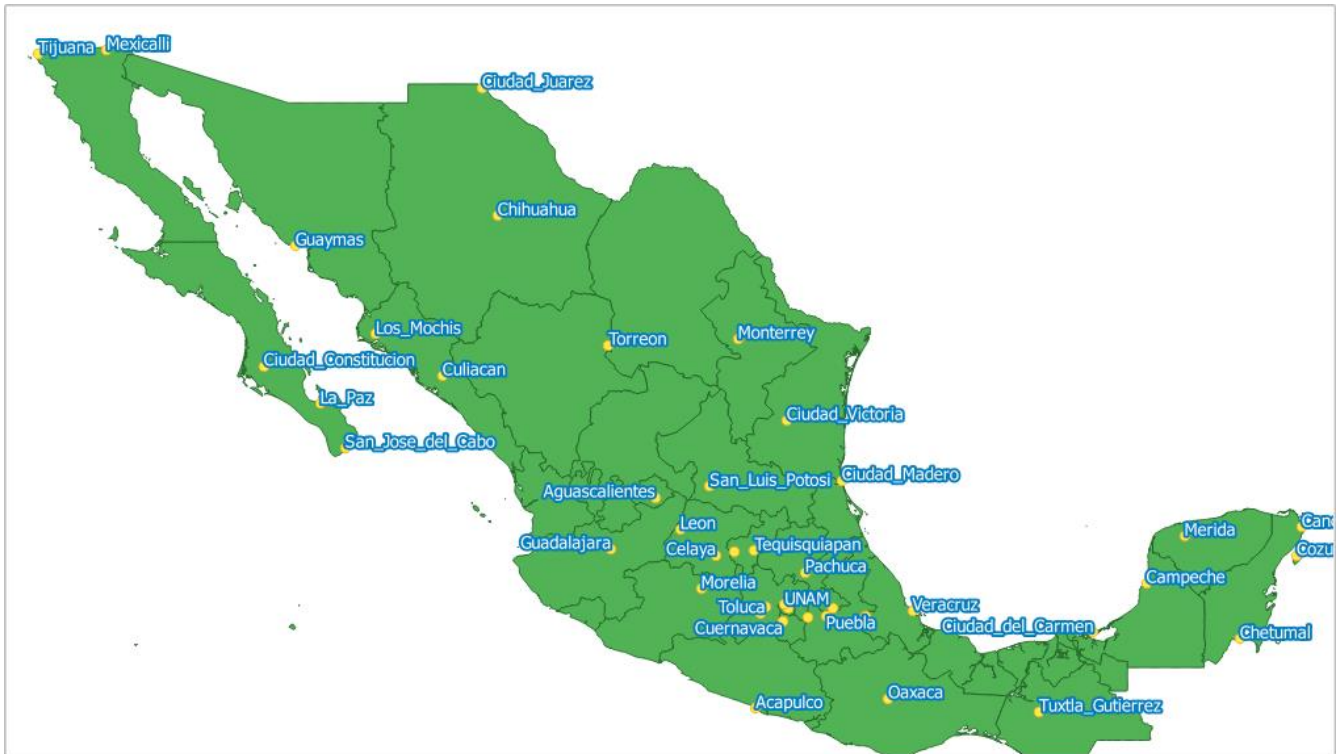


Figura 47. Mapa de la República Mexicana con los puntos disponibles de la base.

Dentro de cada punto existe otro programa escrito en Python el cual se va a encargar de graficar los datos de la base de datos de un determinado punto a partir de los métodos proporcionados por la biblioteca matplotlib. Antes de mostrar las gráficas, el programa pide un factor de albedo ya sea proporcionado por el usuario o alguno de los que se encuentran disponibles: arena, nieve, concreto, asfalto, pasto o ideal.

El programa muestra gráficas por día o por mes. También muestra información referente a la radiación ultravioleta acumulada durante todo el año. Para proporcionar un ejemplo mostramos en la figura 48 la gráfica referente al 30 de junio en la U.N.A.M. con un factor de albedo ideal.

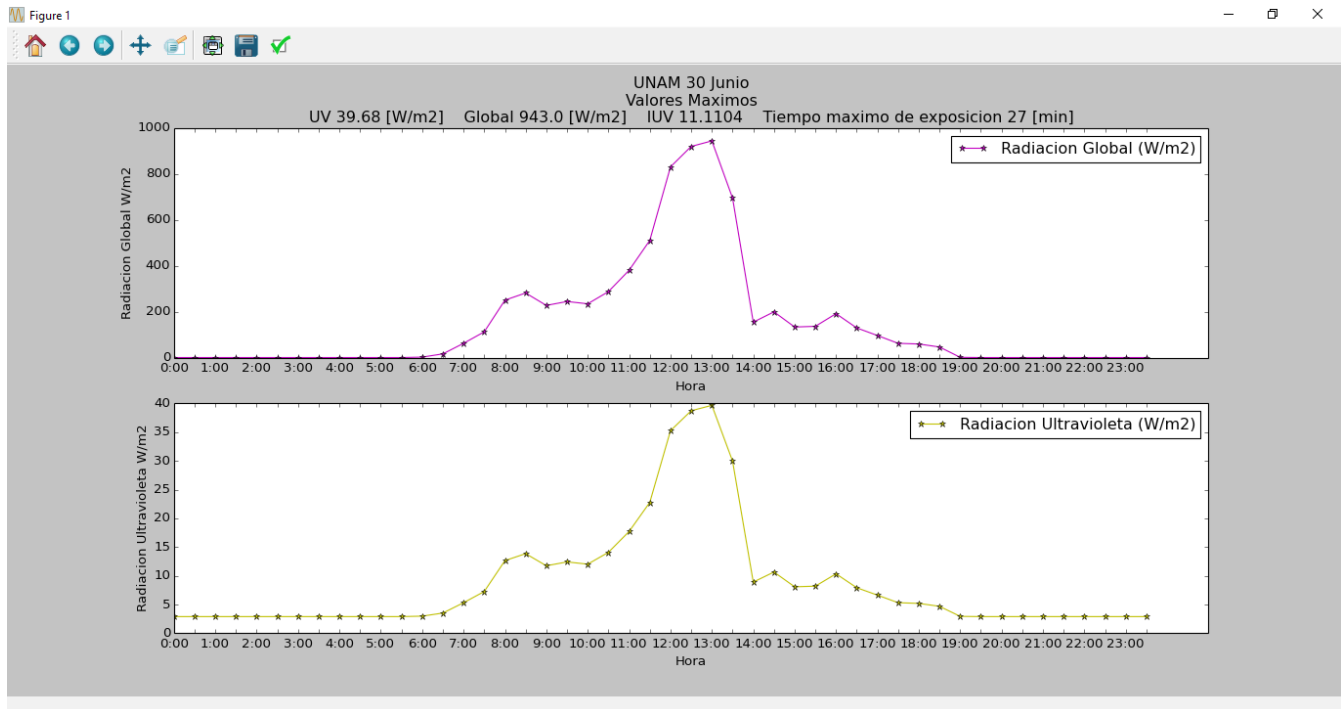


Figura 48. Ejemplo de gráfica de radiación global (arriba) y radiación uv (abajo)

Cada punto de la gráfica está al pendiente de los eventos del mouse. En este caso se acciona un método cada vez que se hace clic sobre el mismo. El método calcula el índice de radiación ultravioleta de la muestra de un tiempo específico a partir de la ecuación 5. También calcula el tiempo máximo de exposición a partir de la ecuación 6. Esta información es presentada a través de una ventana de diálogo después de hacer clic sobre el elemento.

$$iuv = 0.28uv \quad (5)$$

$$tme = 60 \left( \frac{18}{uv} \right) \quad (6)$$

Dónde:  $iuv$  es índice de radiación ultravioleta,  $uv$  es radiación ultravioleta y  $tme$  es tiempo máximo de exposición.



## Aplicaciones del modelo y medición de la Radiación Ultravioleta en la República Mexicana.

### Radiómetro UV de bajo costo.

#### RESUMEN

Se desarrolló un prototipo de radiómetro ultravioleta, haciendo uso de los siguientes dispositivos: sensor UV-A (fotodiodo), amplificador operacional (OPA2350UA), microcontrolador (Arduino uno) y Ethernet Shield (sistema de comunicación inalámbrica).

Se diseñó un circuito capaz de medir la radiación UVA, el cual cuenta con características tales como: comunicación remota y almacenamiento de datos en una computadora. Estas características podrían suponer un costo elevado al compararlo con dispositivos disponibles en el mercado y de manufactura extranjera. El costo final es relativamente bajo además que sería el primer dispositivo de este tipo diseñado en México.

Este radiómetro sirvió principalmente para ser instalado en puntos estratégicos de la República Mexicana, en donde los datos medidos con este radiómetro se compararon con mediciones satelitales y modelos espectrales, lo que resultó en la obtención de un modelo de radiación ultravioleta para la República Mexicana, además permitirá la validación del mismo con mediciones en tierra.



**Figura 49. Fotodetector UVA, Carcaza, sensor UVA**

A través de este desarrollo se pudo realizar un radiómetro de bajo costo, para poder medir en lugares importantes venciendo la limitante del presupuesto, ya que los dispositivos que existen en el Mercado para la medición de esta radiación UV son de manufactura

extranjera, por tanto son muy costosos, por lo que este desarrollo logró diseñar e implementar un dispositivo de bajo costo y características similares a las que tiene un Radiómetro de primera clase.

La parte medular de este desarrollo fue la amplificación de las señales, la cual se generó de manera exitosa, así como el sistema de adquisición de datos, además con ayuda de la programación se logró optimizar la adquisición de datos, ya que se realizó un promedio de la entrada analógica donde se obtuvo un mayor rango de medidas de entre 0 a 5 V maximizando así la respuesta del dispositivo.

Los resultados fueron comparados y caracterizados con el Radiómetro Eppley del IINGEN (Instituto de Ingeniería), se observó que sus mediciones fueron muy similares teniendo un porcentaje de error muy bajo ( $\pm 2\%$ )

Cabe mencionar que la conexión a través de internet solamente se logró realizar a nivel de red local, proponiendo en este caso, si se desea ver desde fuera de la red, una conexión remota con la computadora.

Al dispositivo desarrollado se le pueden realizar mejoras principalmente en el contenedor y encapsulado del sensor, ya que al ser expuesto a temperaturas elevadas y constantes; puede tener repercusiones en el buen funcionamiento del sensor UV. Esto abre una investigación sobre que materiales serían los adecuados para manufacturar dicho contenedor, así como realizar un buen aislamiento del mismo que lo proteja de las inclemencias del clima.

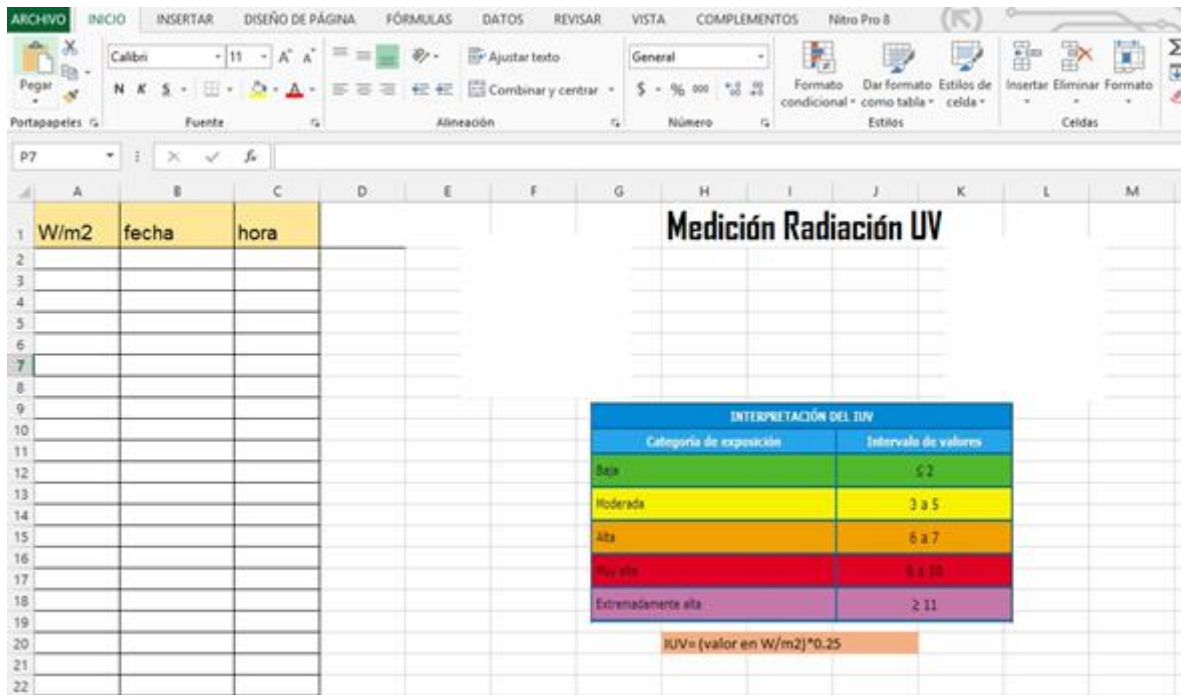


Figura 50. Sistema de adquisición de datos, por medio de Excel

Hora	Radiómetro desarrollado [W/m <sup>2</sup> ]	Radiómetro Eppley [W/m <sup>2</sup> ]	% error
12:15	<b>28.46</b>	<b>28.22</b>	<b>-0.92</b>
12:20	<b>27.89</b>	<b>26.96</b>	<b>-3.45</b>
12:35	<b>28.98</b>	<b>28.07</b>	<b>-3.24</b>
12:40	<b>28.68</b>	<b>28.07</b>	<b>-2.17</b>
12:45	<b>28.31</b>	<b>28.07</b>	<b>-0.86</b>
12:50	<b>28.83</b>	<b>28.07</b>	<b>-2.71</b>
13:00	<b>27.9</b>	<b>28.07</b>	<b>0.61</b>

Figura 51. Validación de mediciones Radiómetro Eppley vs Radiómetro desarrollado

## Construcción y operación de la cámara de envejecimiento

### RESUMEN

Se diseñó, construyó y operó una cámara de envejecimiento, la cual cuenta con una fuente de radiación ultravioleta que sirvió para simular la exposición al Sol de paneles fotovoltaicos por 25 años, con base en la norma del Comité Internacional de Electrotecnia IEC – 61215; cabe acotar que las consideraciones de esta norma para determinar la radiación UV que un panel fotovoltaico recibe en 25 años fueron realizadas con base en condiciones atmosféricas en países europeos, las cuales son menores que en zonas más cercanas al Ecuador.

En el caso específico de la Ciudad de México, además de encontrarse en una zona con alto potencial solar, cuenta con una altitud de 2,250 metros sobre el nivel del mar, lo que incrementa el valor de radiación ultravioleta que recibimos, pues como se explicó en el desarrollo del modelo de radiación UV, a mayor altitud existe un aumento en la radiación UV.

La importancia de este estudio residió en evaluar los paneles fotovoltaicos de manera que se pueda conocer la vida útil de éstos, con un estudio rápido y confiable, es decir, sin la necesidad de esperar 25 años, ya que las variables involucradas en el proceso de envejecimiento son las más parecidas a las que se encuentran en la realidad y pueden controlarse dependiendo de las necesidades del estudio.

La cámara de envejecimiento fue construida con lámparas especiales, las cuales fueron caracterizadas con un espectro del radiómetro; para el concentrador de radiación UV se optó por utilizar aluminio debido a su comportamiento espectral bajo la radiación UV, además se automatizó el control de la temperatura para evitar que esta variable afectara las pruebas. También para lograr el monitoreo del decaimiento de la eficiencia de los paneles se construyó una carga variable la cual nos permite conocer las gráficas de corriente –voltaje de los sistemas fotovoltaicos.

Ya se han evaluado Dos paneles fotovoltaicos, ambos son del mismo fabricante y el mismo modelo, sin embargo, uno contaba con una desventaja inicial, el vidrio protector frontal se encontraba estrellado. Esta desventaja fue clave para conocer cómo afectaría la radiación solar a una falla que puede ser ocasionada por las condiciones meteorológicas.

El primer panel, que se encontraba en óptimas condiciones, sufrió una caída en la potencia de aproximadamente un 12%, mientras que el panel que contaba con el vidrio estrellado, sufrió una caída de potencia de 62.5%, se puede observar que esta desventaja influyó en el rendimiento del panel fotovoltaico, pues al encontrarse el vidrio estrellado, éste no fue capaz de proteger al encapsulante y a las celdas solares de la radiación solar, tal como lo hizo en el primer panel.

Dado que las condiciones de radiación ultravioleta en la Ciudad de México son mayores que las establecidas en la norma IEC – 61215, y al no pasar esta prueba los paneles fotovoltaicos, se puede concluir que el desgaste que los paneles sufrirán en la Ciudad de México serán mayores y por lo tanto la vida útil de éstos se reducirá considerablemente.

Diversos estudios de tasas de degradación de paneles fotovoltaicos, consultados para la realización de este trabajo, difieren con la norma internacional, afirmando que para considerar que la vida útil de un panel fotovoltaico se considere como terminada, la potencia de salida debe de disminuir en un 20% con respecto de la potencia inicial. Esta diferencia que se marca entre los diferentes estudios y la norma internacional se debe al tiempo de exposición a la radiación solar que sufren los pa Figura 49. Fotodetector UVA, Carcaza, sensor UVAneles fotovoltaicos. De igual forma, se considera que aunque la pérdida de potencia sea de un 20%, el beneficio que se obtiene al generar energía eléctrica por el efecto fotoeléctrico es mejor que con las fuentes convencionales, tales como los combustibles fósiles, dónde la máxima eficiencia de éstos se encuentra en un 30% aproximadamente.

El resultado obtenido en esta prueba fue puntual, pues únicamente se midió la potencia de salida al terminar la prueba, sin embargo, es posible realizar un programa una adaptación a la cámara de envejecimiento con el fin de medir en todo momento la potencia eléctrica que los paneles fotovoltaicos están generando y de esta forma lograr conocer como es la tasa de degradación del panel fotovoltaico en todo momento y si es que ésta se realiza de una manera lineal, exponencial, polinomial o escalonada.

En conclusión, la cámara de envejecimiento cuenta con las condiciones necesarias para poder exponer paneles fotovoltaicos o algún material o equipo que sea necesario conocer su comportamiento después de ser afectado por la radiación UV.

Gracias a la construcción de la cámara de envejecimiento es posible conocer el desempeño de diferentes marcas de paneles fotovoltaicos y poder determinar cuál de ellos es el más apto para cada región, dependiendo de la cantidad de radiación ultravioleta que a ésta llegue.

La descripción detallada del trabajo se tiene en el ANEXO 3

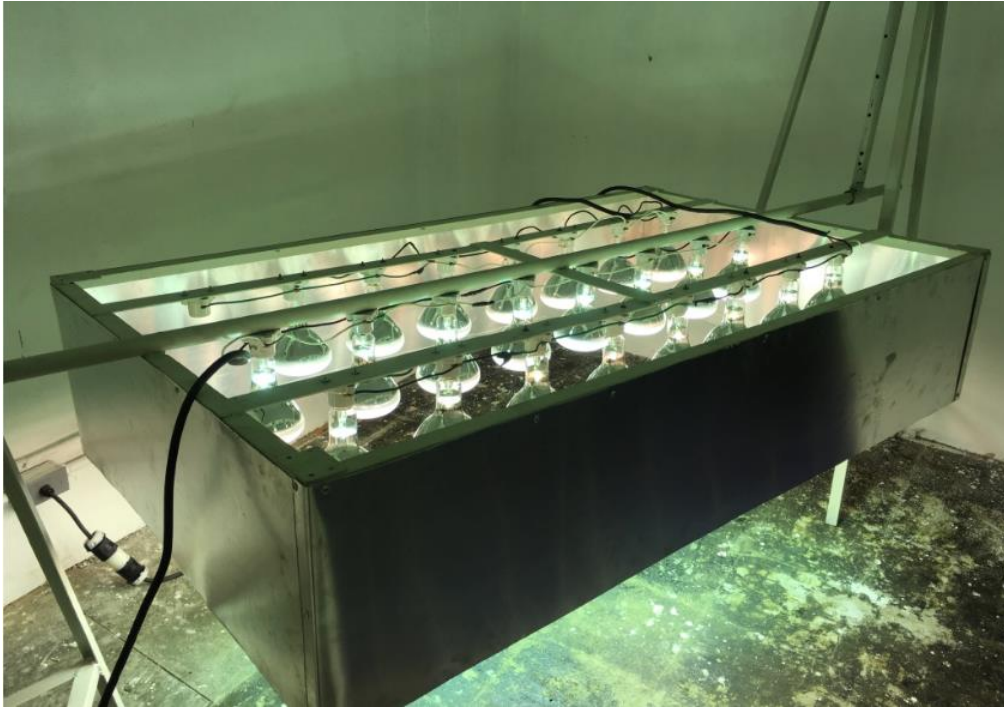
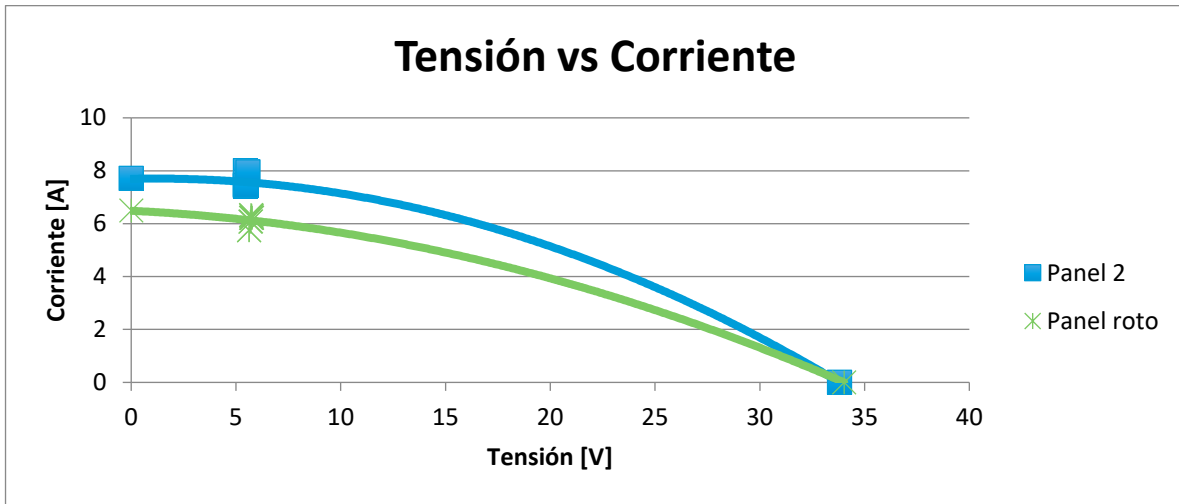


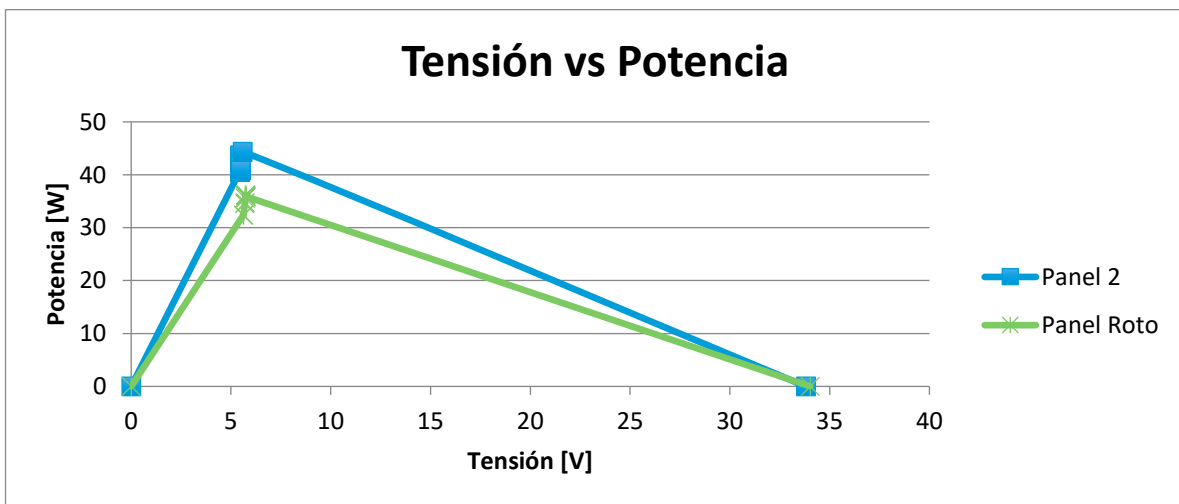
Figura. 521 Funcionamiento cámara de envejecimiento



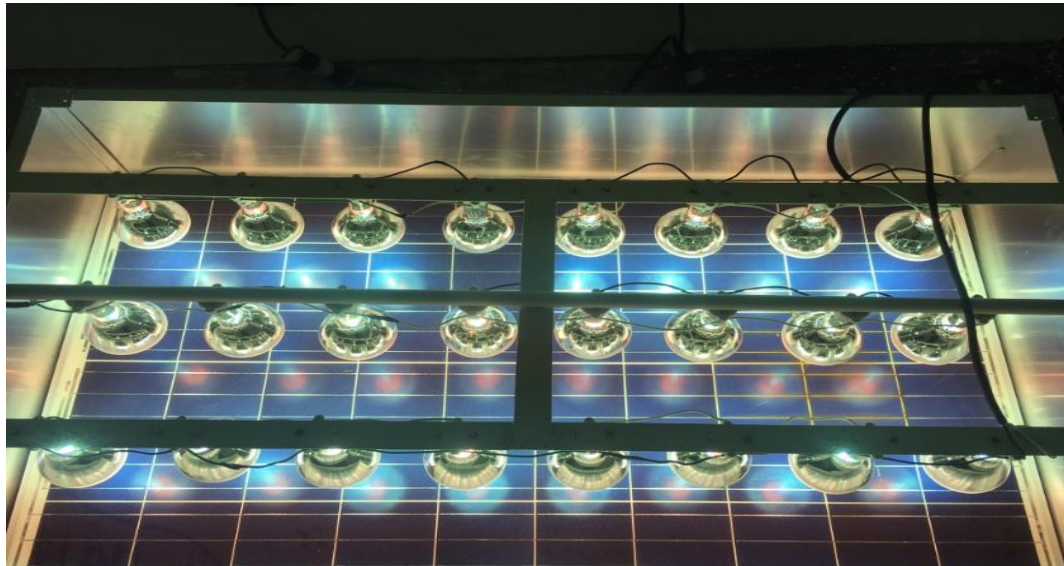
Fig. 53 Realización de pruebas a paneles fotovoltaicos



Gráfica 1 Curvas características paneles fotovoltaicos



Gráfica 2 Curva de tensión vs potencia paneles fotovoltaicos



**Fig. 2 Operación de la cámara de envejecimiento**



**Fig. 3 Panel 2 envejecido, parte frontal**



## Conclusiones Generales

En las últimas décadas, se está experimentando un progresivo aumento de la preocupación sobre la cantidad de radiación ultravioleta (UV) que alcanza la superficie terrestre, como consecuencia de sus efectos biológicos sobre los seres vivos que habitan en la Tierra y sus posibles aplicaciones tecnológicas (Pedrós et al., 1995). De esta forma, el conocimiento de la cantidad de radiación ultravioleta que reciben los hombres, plantas y animales resulta de gran importancia para muy diversos campos de investigación (Grant and Heisler, 1997; McKenzie et al., 1991). En este sentido, con este trabajo de investigación se pretende avanzar en la caracterización de la radiación ultravioleta recibida en la superficie terrestre, mediante la determinación de modelos matemáticos que cuantifiquen su dependencia con respecto a determinados factores como la radiación global, radiométricos y procesamiento satelital. Concretamente, en términos de las distribuciones de frecuencia de los índices de claridad total y ultravioleta, respectivamente, en primer lugar, se ha estudiado la influencia de las nubes sobre la radiación solar total y su componente ultravioleta.

La radiación Ultravioleta juega un papel preponderante en el deterioro de los materiales. Ya que degradará, de laminará y hará que pierda elasticidad el encapsulado de los sistemas fotovoltaicos. Lo cual generara pérdidas en la generación eléctrica de los módulos, así como puede ocasionar fallas a tierra debido a la degradación de interconexión entre las celdas que componen al panel fotovoltaico.

La información generada por el Modelo de Radiación UV, desarrollado por Quiñones, permite conocer la cantidad de Radiación UV que recibirán los sistemas FV en cualquier periodo de tiempo.

Por lo tanto, se puede fortalecer la norma Mexicana considerando esta información. Además, que con dicho modelo en el Instituto de Ingeniería se diseñó una cámara de envejecimiento por radiación UV a paneles FV, considerando condiciones de México.

Una de las aplicaciones diseñadas con el modelo es evaluar sistemas fotovoltaicos bajo exposición de radiación UV bajo condiciones de México.

En el Instituto de Ingeniería se desarrolló un simulador de Radiación Ultravioleta basado en el Modelo de Radiación Ultravioleta que considera condiciones de México (Quiñones A, Almanza R, "Modeling UV Radition Over Mexican Conditions" Elseviere 2013),

Este sistema ya se ha utilizado para evaluar sistemas fotovoltaicos desarrollados en México y las conclusiones no han sido muy alentadoras. Ahora que el mercado FV está creciendo en México se tienen que tomar estas consideraciones para saber cómo se comportaran estos sistemas en condiciones de México después de estar operando por 25 años. En esta tesis se propone un modelo para República Mexicana que depende de la latitud, longitud, orografía, capa de ozono entre otros parámetros.

Los resultados de estos estudios permitirán abrir líneas de desarrollo para mejora de recubrimientos, punto de oportunidad para la industria Fotovoltaica Mexicana; además que es algo que se tiene que considerar en el diseño de las normas mexicanas.

#### **Consideraciones del Estudio y construcción de la cámara de envejecimiento.**

Las normas internacionales IEC 61215 y la IEC 61646, no consideran la exposición a la radiación UV en condiciones naturales y para periodos extendidos en el tiempo.

Según la norma internacional el estudio de preacondicionamiento por UV considera lo siguiente: Irradiación total UV de 15 kWh/m<sup>2</sup> en el intervalo de longitudes de onda de 280 nm a 385 nm, siendo la irradiación UV en la franja de 280 nm a 320 nm de 5 kWh/m<sup>2</sup>

En la CDMX la exposición anual total de radiación ultravioleta está en el orden de 172KWh/m<sup>2</sup> por lo tanto la exposición en 25 años a la intemperie sería de 4000KWh/m<sup>2</sup>

En el diseño de las normas mexicanas se tiene que considerar el envejecimiento por radiación UV tomado en cuenta condiciones naturales de radiación.

En México se tiene la ventaja que ya se cuenta con un modelo desarrollado en el IINGEN que genera dicha información. Además, un simulador para pruebas de envejecimiento.

Los niveles reales de Radiación UV en México están muy por encima de los niveles considerados en las Normas internacionales.

## Anexo1

### Manual para uso del programa de Radiación Instituto de Ingeniería

1. Descargar la versión 2.7 de Python desde la siguiente liga (Descarga directa):

<https://www.python.org/ftp/python/2.7.12/python-2.7.12.msi> (Es una liga de red local, no se cuenta con un dominio público)O hacerlo manualmente desde la página oficial de Python:

<https://www.python.org/downloads/release/python-2712/>

Hacer clic en la opción Windows x86 MSI Installer.

*Se recomienda hacerlo desde la descarga directa (Primer enlace), para evitar confusiones.*

2. Aceptar las opciones por default del instalador de Python y posteriormente instalarlo.

3. Descargar el paquete *numpy* de Python desde la siguiente liga:

[https://sourceforge.net/projects/numpy/files/NumPy/1.9.1/numpy-1.9.1-win32-superpack-python2.7.exe/download?use\\_mirror=kent&r=https%3A%2F%2Fsourceforge.net%2Fprojects%2Fnumpy%2Ffiles%2FNumPy%2F1.9.1%2F&use\\_mirror=kent](https://sourceforge.net/projects/numpy/files/NumPy/1.9.1/numpy-1.9.1-win32-superpack-python2.7.exe/download?use_mirror=kent&r=https%3A%2F%2Fsourceforge.net%2Fprojects%2Fnumpy%2Ffiles%2FNumPy%2F1.9.1%2F&use_mirror=kent)

4. Si se instaló correctamente la versión 2.7 de Python, entonces al momento de la instalación del paquete *numpy*, nos aparecerá que la reconoció y que está instalada la versión de Python. **Si no aparece que se reconoció que está instalado Python 2.7 entonces no funcionará el programa de radiación, por lo que se recomienda desinstalar y volver a instalar Python 2.7.**

Como podemos ver en la imagen anterior, nos indica: **Python Version 2.7 (found in registry)**, así como en Python Directory nos pone la carpeta de **C:\Python27\** por defecto. Si al momento de instalarlo, aparece algo distinto a esto entonces el programa de radiación no funcionará.

5. Entrar a la línea de comandos (símbolo del sistema) de Windows: *Buscar programas > cmd*

6. Una vez en la línea de comandos, teclear los siguientes comandos:

- *pip install matplotlib*
- *pip install easygui*
- *pip install pyparsing*
  
- *pip install cycler*
- *pip install python-dateutil*

Cabe señalar que cada que se ingresa un comando, éste descargará e instalará automáticamente el paquete indicado, por lo que se recomienda que termine de descargar e instalar el paquete por completo antes de ingresar el siguiente comando.

7. Una vez realizado los pasos anteriores, ya se puede hacer uso del programa de radiación, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- El programa *radiacion.py* debe estar en la misma carpeta que los archivos *.csv* (archivos que contienen los datos de radiación por lugar geográfico).
- Verificar que también en la carpeta se encuentre el archivo *in.gif*
- Al momento de ingresar el nombre del mes del que se quiera extraer los datos debe seguir el siguiente formato: la primera letra deberá de ir con mayúscula y las siguientes letras deberán ir en minúscula. Ej: *Enero, Noviembre, Agosto*.

De no seguirse el formato ocurrirá un error y se cerrará el programa.

- Verificar también que, al momento de ingresar la ciudad o el lugar, el nombre se ingrese tal cual está escrito el archivo *.csv*, ya que de lo contrario ocurrirá un error diciendo que no encontró el archivo especificado y se cerrará el programa.
- Al momento de ingresar el día (si es el caso), este se debe de ingresar de manera numérica.

## Manual de usuario Software Modelo Radiación UV

El siguiente manual de usuario es una guía para el uso del mapa estadístico de radiación ultravioleta.

Abarca temas de instalación, funciones básicas y mantenimiento a raíz de cambios de datos estadísticos.

Sobre la instalación

Para poder utilizar el mapa estadístico es necesario tener instalado el programa QGIS. Recomendamos la versión 2.18.3 o superiores. El link de descarga del software es el siguiente:

<https://www.qgis.org/es/site/forusers/download.html>

Sobre las funciones básicas

La interfaz de usuario es la que presentamos a continuación. Cabe destacar que puede variar

dependiendo de los puntos que se encuentren disponibles:



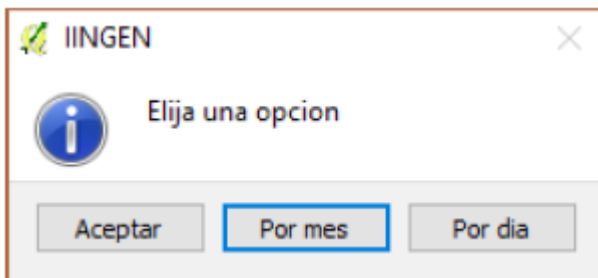
El mapa cuenta con un listener en cada punto que permite observar las gráficas de radiación

global y ultravioleta del punto seleccionado. Para que esta opción se encuentre disponible es necesario

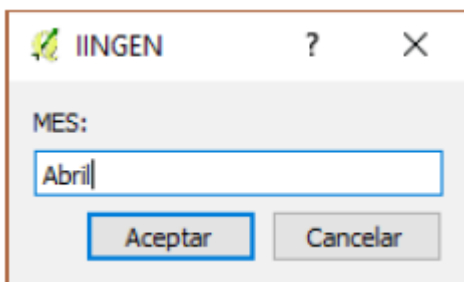
verificar que el botón de acción se encuentre activado en la opción de graficador:



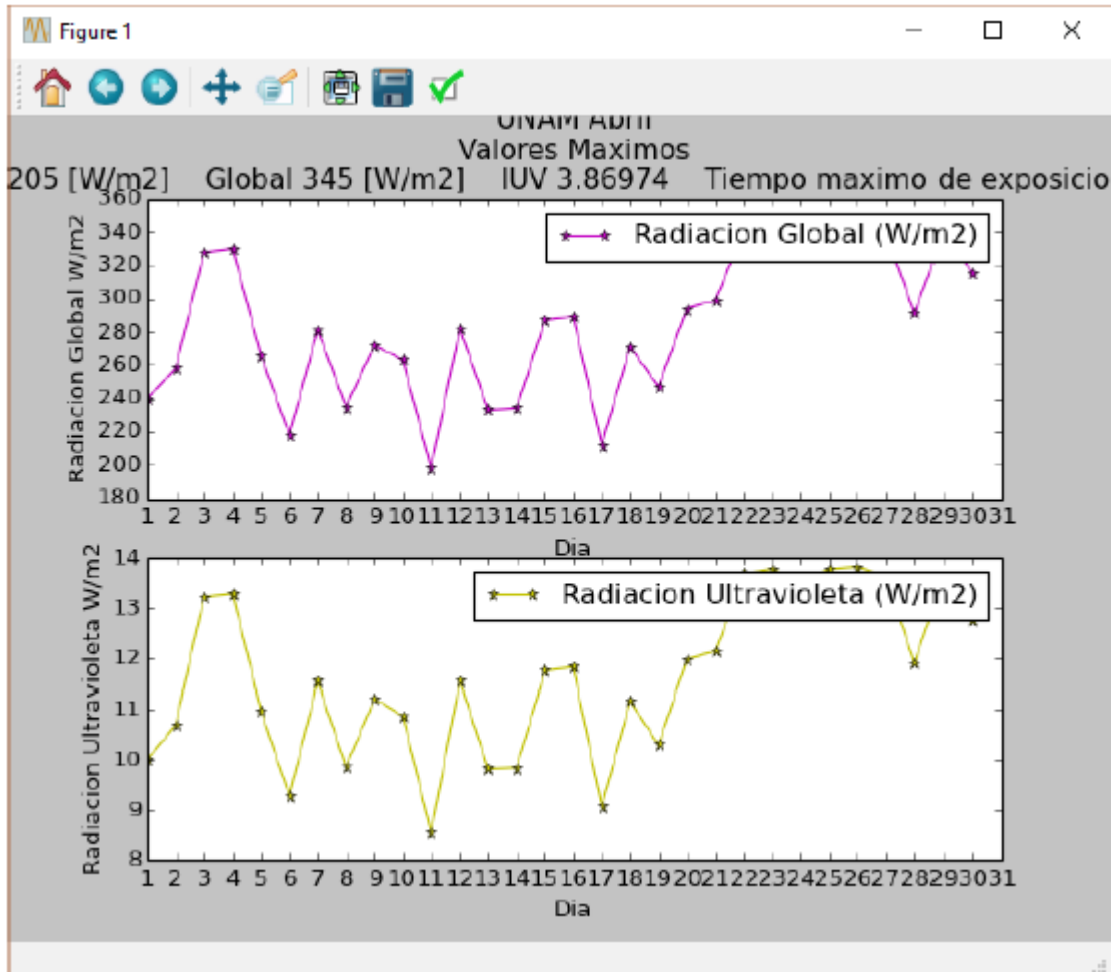
Ya verificado el botón de acción, se puede usar la función del listener. Basta con hacer click al punto de donde se desee obtener información. Aparecerá una ventana de diálogo que preguntará qué opción es la que se desea visualizar. Cuenta con opción por mes o por día.



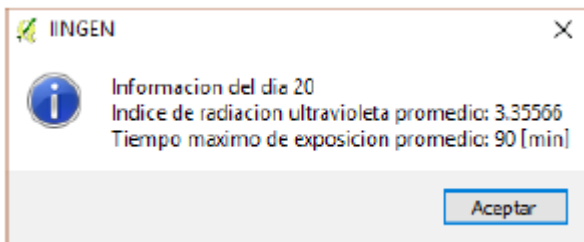
Para la opción por mes, sólo se pide el mes para graficar. Hay tres formas válidas de entrada, por ejemplo: Abril, abril o ABRIL. Si hay un error se notifica al usuario.



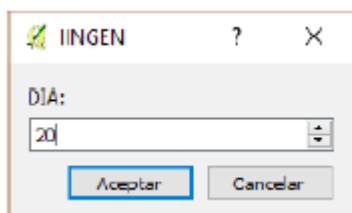
Si no hay errores, el programa lanza una gráfica del mes y punto correspondiente. La gráfica ofrece la opción de zoom y guardar como imagen.



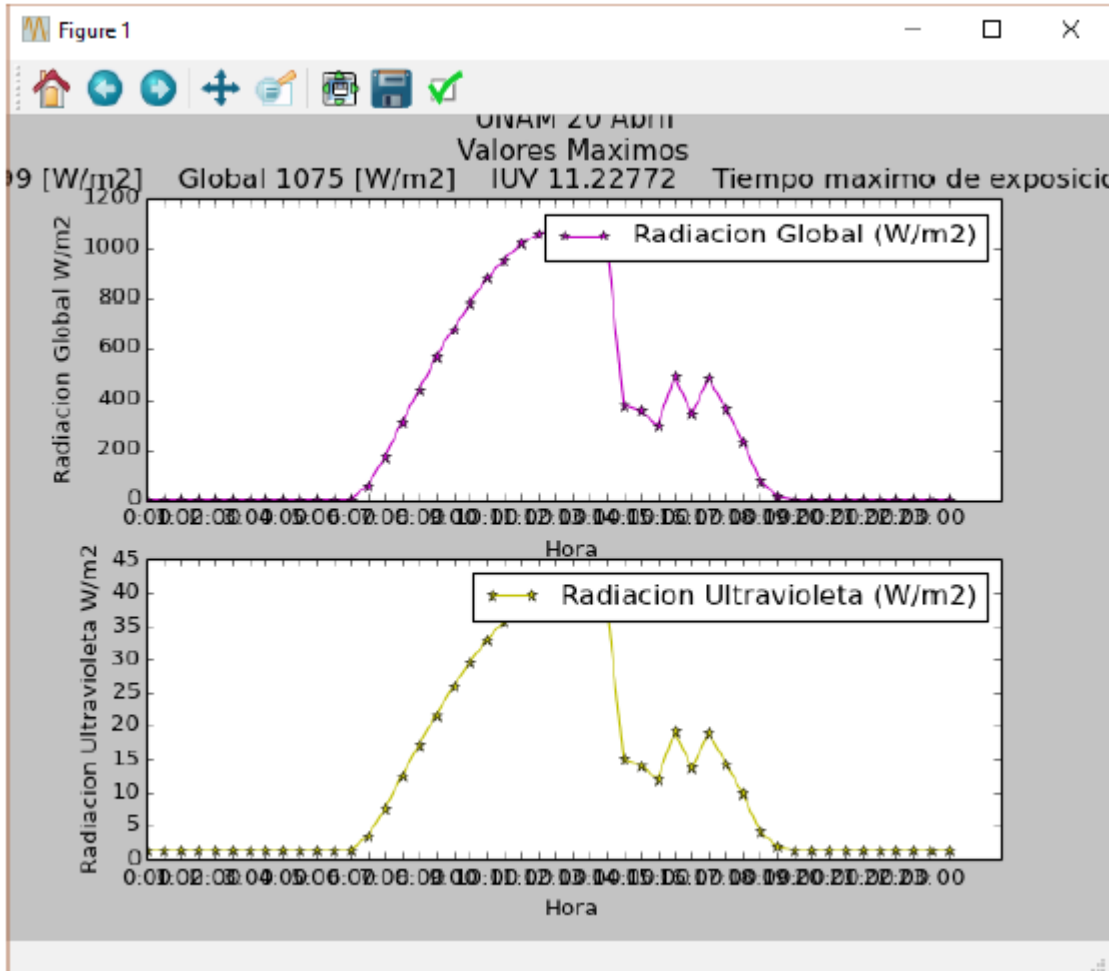
Para obtener información de un determinado día, sólo basta con hacer click en el punto del día requerido. Arrojará un cuadro de diálogo con la información detallada.



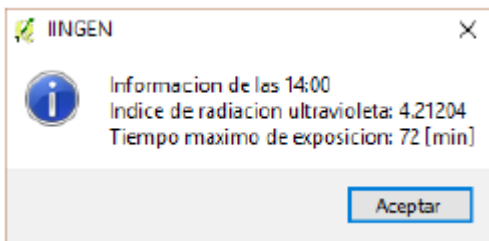
En el caso de la opción por día. Se preguntará de la misma manera el mes pero adicionalmente se preguntará el día deseado:



De la misma manera arrojará una gráfica del punto seleccionado y del día especificado:



De la misma forma, si se hace click sobre un punto específico, se mandará un mensaje con la información detallada de la hora requerida:

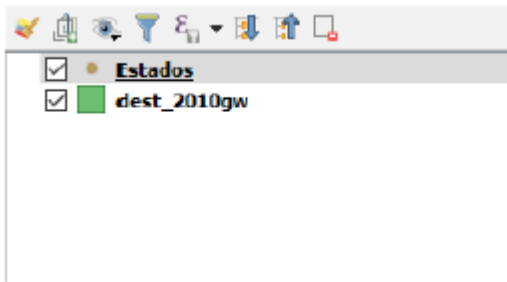


### Sobre el mantenimiento

En dado caso de que la información de los puntos sea modificada, será necesario actualizar los puntos del mapa para actualizar los datos. Todos los cambios respecto a archivos csv de los puntos se hacen sobre la carpeta "base" que se encuentra dentro de la carpeta del proyecto. Para empezar, se debe de eliminar la capa de Estados del proyecto, es importante hacer esta modificación para que no existan problemas al ejecutar el script de python.



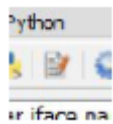
Para eliminar la capa hacer click derecho en la capa Estados del panel de capas y elegir la opción eliminar.



El siguiente paso es abrir la consola de python:



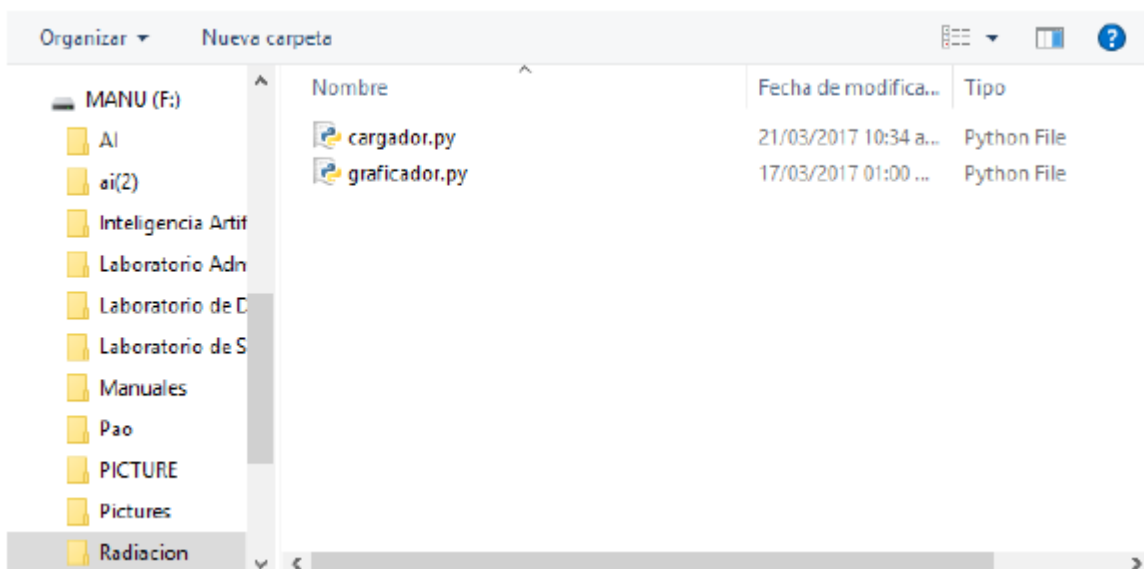
Para cargar la clase Cargador, hacer click en el botón Mostrar editor.



En la ventana del editor hacer click en el botón Abrir script.



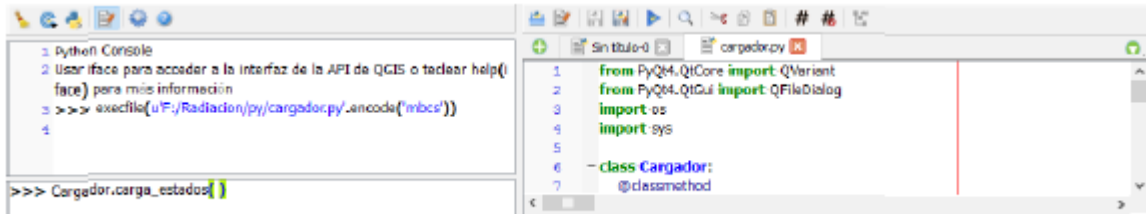
Abrir el archivo cargador.py que se encuentra en la carpeta py de la carpeta del proyecto.



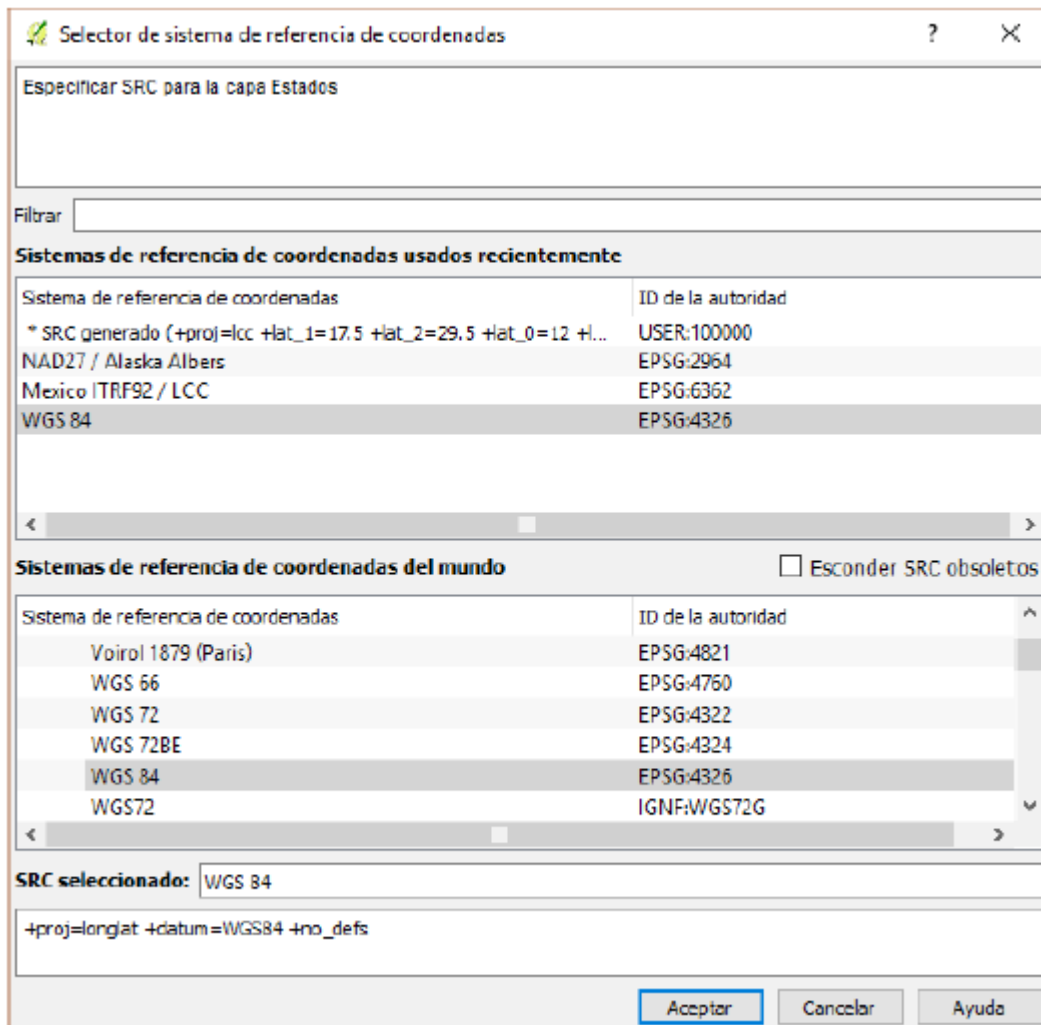
Ya abierto el script, hacer click en Ejecutar script.



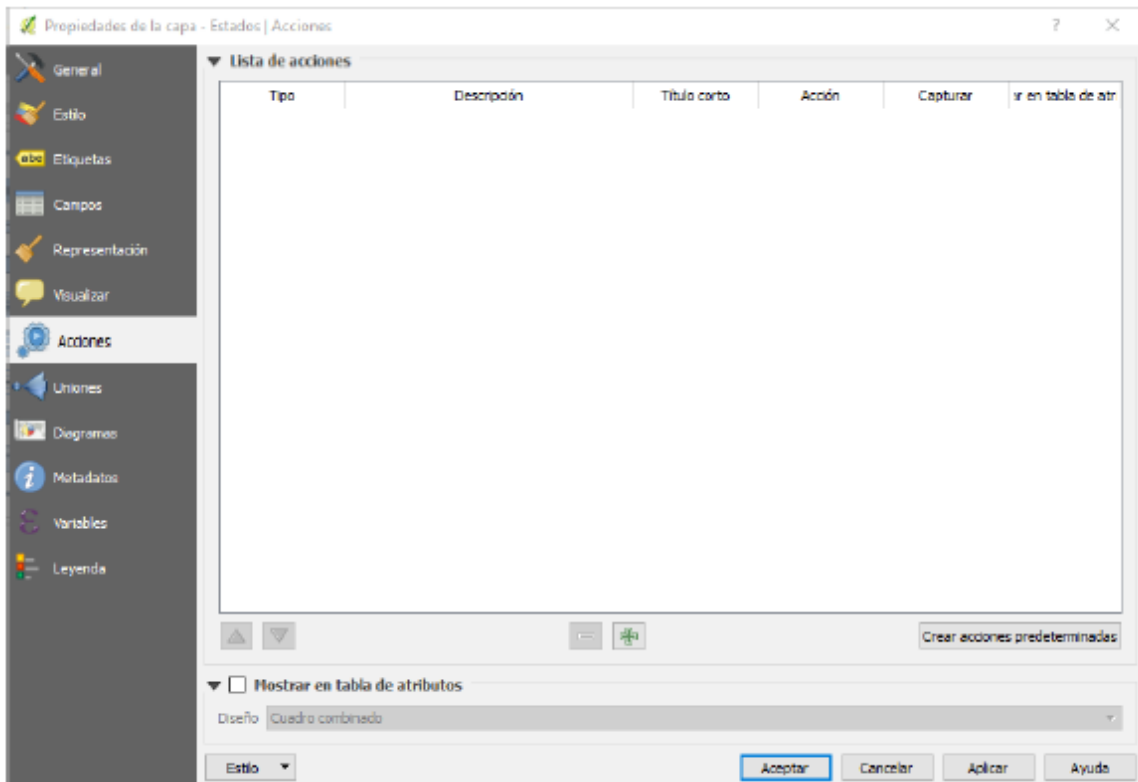
Escribir en la consola el comando `Cargador.carga_estados()` y dar enter.



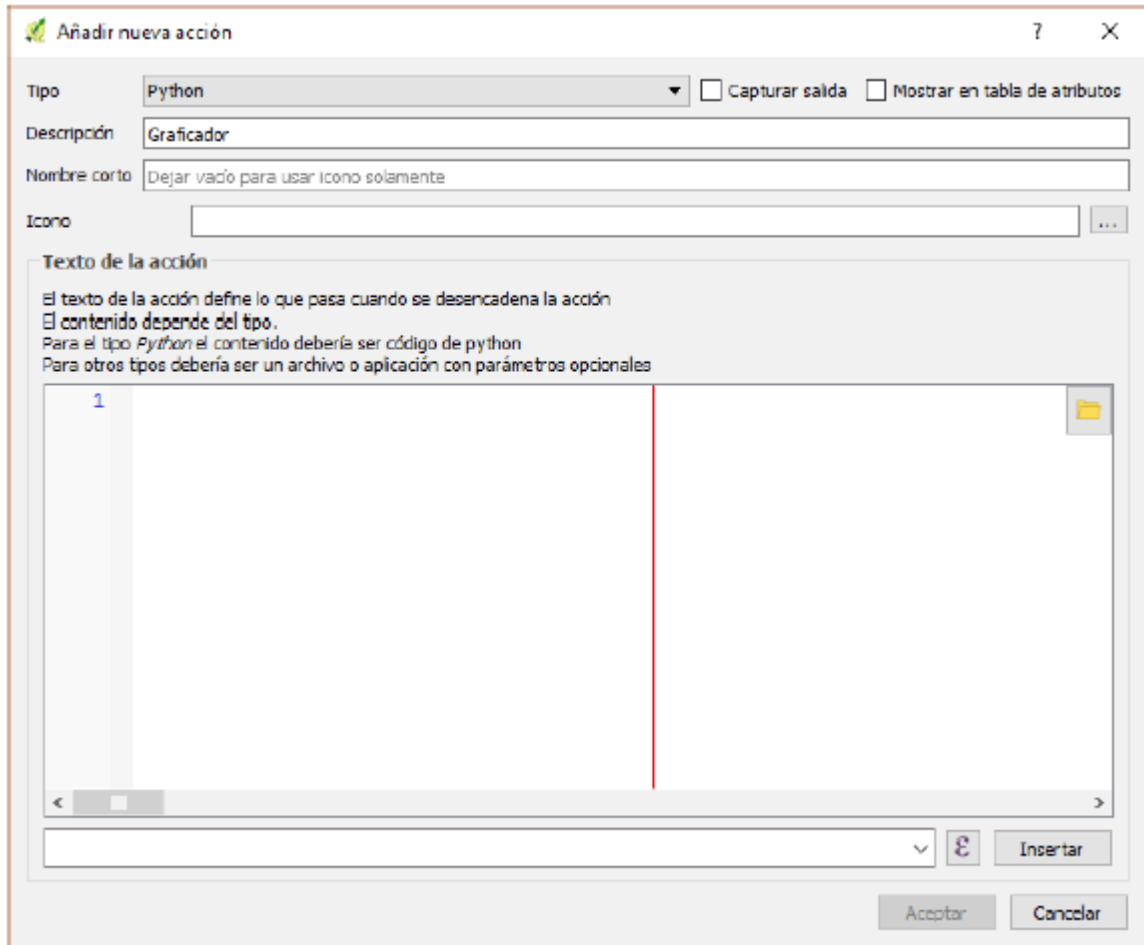
Cuando se carguen totalmente los datos se pedirá el sistema de referencia de la capa. Es importante elegir el sistema WGS 84.



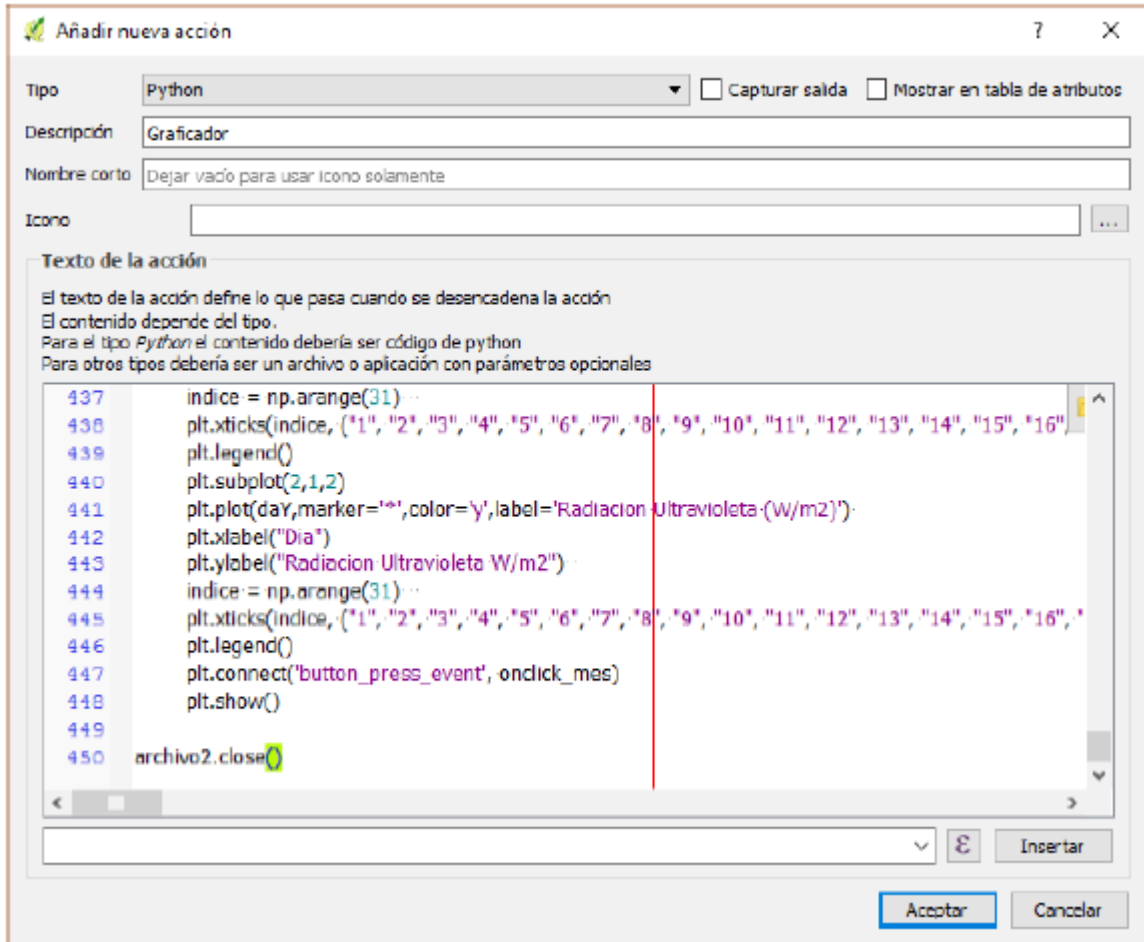
Ya que están cargada la capa se puede cerrar la consola de python. De suma importancia, se debe activar el listener de las gráficas. Para ello hacer click derecho en la capa Estados y elegir propiedades. Ya en la ventana, seleccionar la pestaña de Acciones.



Dar click en el botón de Añadir una nueva acción y poner los siguientes campos.



En el texto de la acción se debe de copiar y pegar el contenido del archivo graficador.py que se encuentra en la carpeta py de la carpeta del proyecto. Es de suma importancia copiar y pegar todo el código.

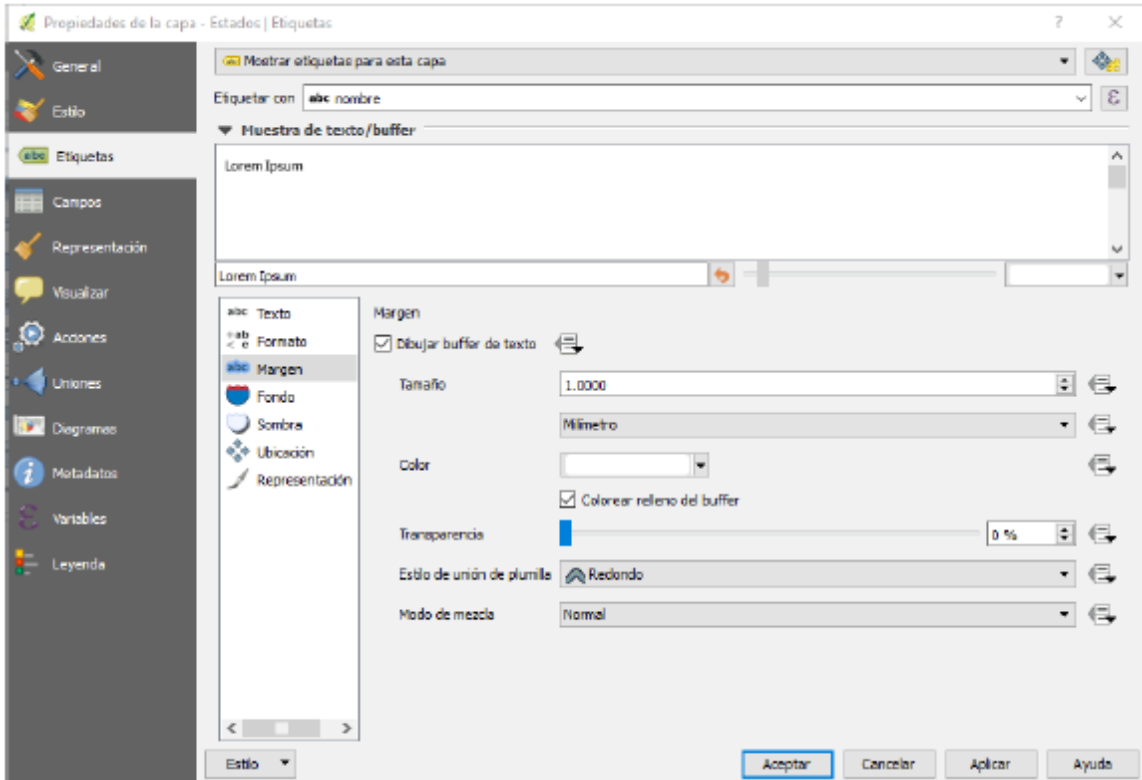


Dar click en aceptar en ambas ventanas. Y activar el botón de acción en la opción de graficador

Dar click en aceptar en ambas ventanas. Y activar el botón de acción en la opción de graficador para activar la funcionalidad.



Para el etiquetado, hacer click derecho en la capa Estados, seleccionar propiedades y elegir la pestaña de Etiquetas. Poner los siguientes campos.



Aplicar para visualizar los cambios y aceptar para guardarlos. También es preciso mencionar que la elección de colores para el etiquetado queda a la elección del usuario. Por último, dar click en el botón de guardar para que todos los cambios se guarden en el proyecto. Es de suma importancia guardarlo para no perder todos los cambios.

Ejemplo de resultados con el software desarrollado

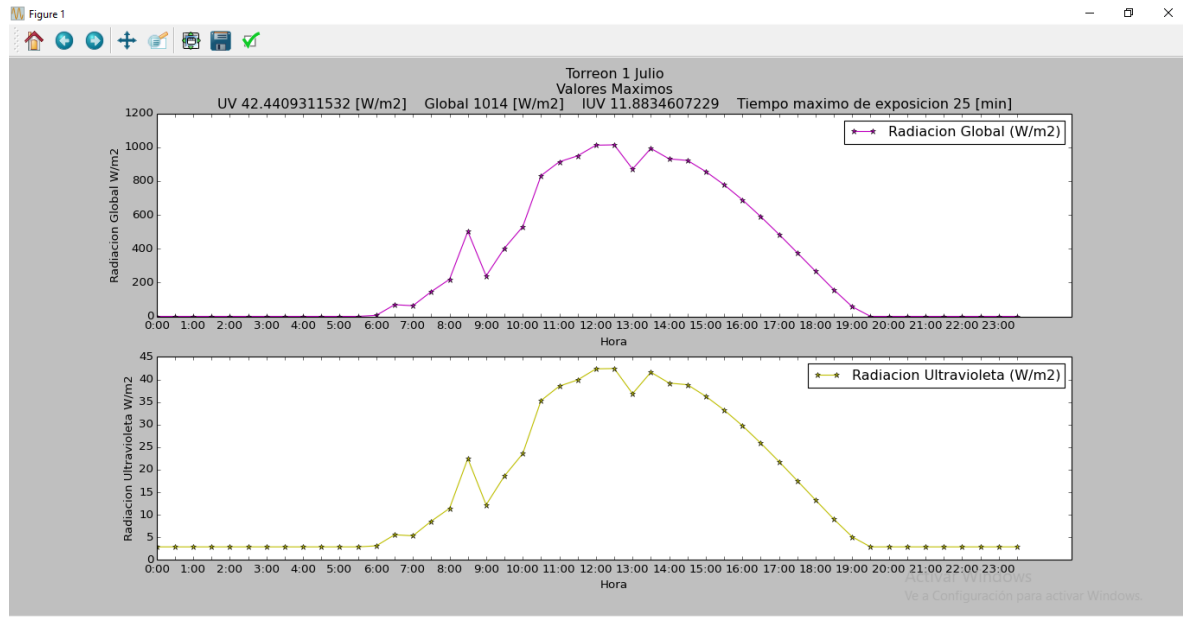


Figura 25. Radiación Torreón 1 Julio, Radiación UV, global y tiempo máximo de exposición a la radiación UV

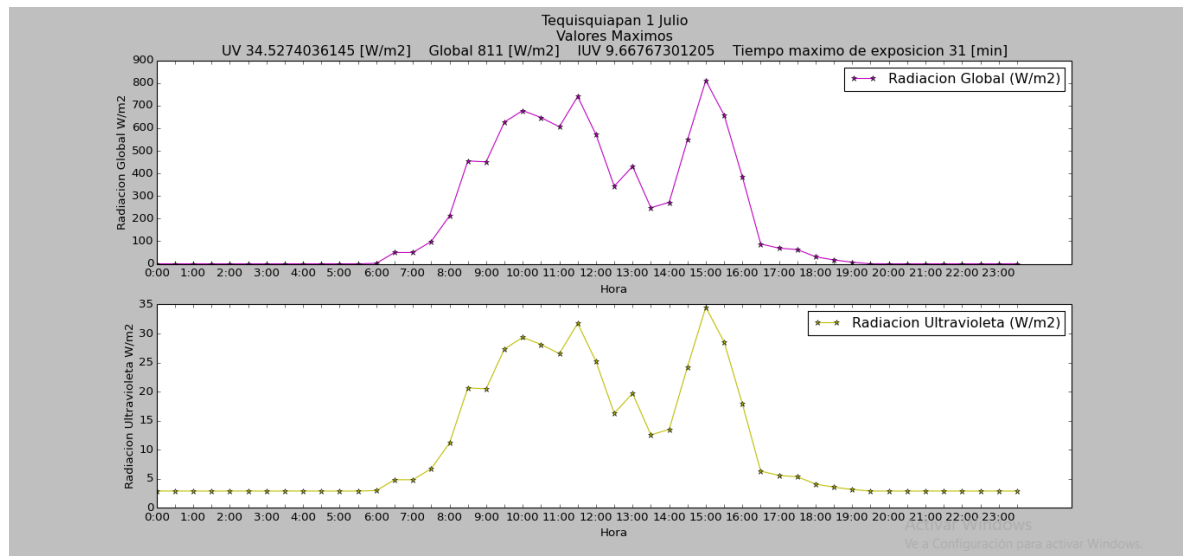


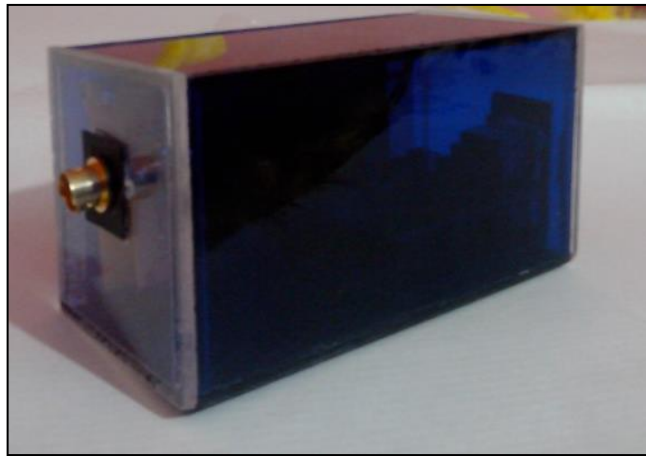
Figura 26. Radiación Tequisquiapan 1 Julio, Radiación UV, global, índice UV y tiempo máximo de exposición a la radiación UV.

## Anexo 2

### Manual de Operación Radiómetro UV

(Guía del Usuario)

#### **Radiómetro UV**



Configuración inicial del equipo (Windows 7)

- 1.- Conecte el radiómetro con el cable USB y espere a que Windows inicie el proceso de instalación, después de unos minutos aparecerá un mensaje de error, debido a la ausencia de los controladores necesarios.
- 2.- Copie la carpeta Arduino 1.0.5 que está dentro del cd al escritorio de su equipo.
- 3.- Acceda al icono "Equipo" y seleccionar la opción "Administrar".
- 4.- Se abrirá una ventana. Elija la opción "administrador de dispositivos", mire debajo de los puertos (COM & LPT) o en otros dispositivos, debe aparecer Arduino UNO.
- 5.- De Clic derecho en "Arduino UNO " y elije la opción de actualizar software del controlador.
- 6.- Después elija la opción buscar software de controlador en el equipo y seleccione la carpeta guardada en el escritorio mencionada en el paso 2.



7.- Busque la carpeta drivers y selecciónela (sólo la carpeta drivers no la FTDI que se encuentra interna), sigue la instalación de manera normal.

8.- Ahora ya está listo el equipo para trabajar con el radiómetro.

**Este radiómetro cuenta con tres posibles conexiones:**

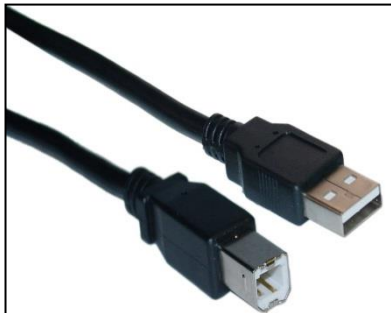
Vía página web (sin almacenamiento de datos).

Aplicación Excel (con almacenamiento de datos).

Doble

Conexión Vía Pagina Web (Red Local)

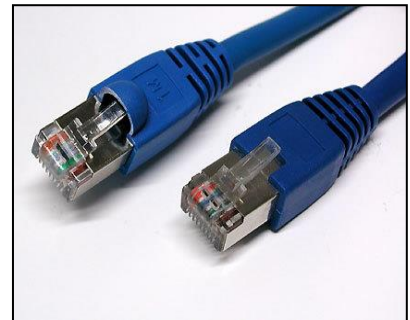
Para realizar esta conexión se requieren lo siguiente:



**Cable USB (impresora).  
Ethernet**



**Modem (con acceso a internet)**



**Cable**



**Computadora o Laptop.**

Instrucciones:

1.- Conecte el Radiómetro con el cable USB y abra la terminal Arduino que se encuentra dentro de la carpeta que copió anteriormente al escritorio.

2.- En la nueva ventana seleccione la pestaña Archivo y luego Abrir....

3.- Abrir la carpeta UV que está en el cd y seleccione el archivo que se encuentra dentro.

4.- Configurar el código del dispositivo si así lo requiere, con la dirección IP de la red (imagen 1 y 2).

```

Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
voltajeethernetAJAXmediaconlogoy_serialcomentado §
/*
  Ajax con dibujo 24/11/2013
  -----*/

#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>

// Configuración de dirección MAC e IP
byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
IPAddress ip(192, 168, 1, 2); // dirección IP ,la cual puede neces
EthernetServer server(80); // Inicia la libreria Ethernet server c

String HTTP_req; // Almacena la petición http
int analogPin0 = 0; // el pin a utilizar es el analogico 0
int NumMedidas = 10000; // numero de medidas a realizar

void setup()
{

```

Imagen 1

Propiedad	Valor
Sufijo DNS específico p...	lan
Descripción	Qualcomm Atheros AR5BWB222 Wires...
Dirección física	F4-B7-E2-13-2B-93
Habilitado para DHCP	Sí
Dirección IPv4	192.168.1.78
Máscara de subred IPv4	
Concesión obtenida	
La concesión expira	
Puerta de enlace predet...	
Servidor DHCP IPv4	
Servidor DNS IPv4	
Servidor WINS IPv4	
Habilitado para NetBios ...	Sí
Vínculo: dirección IPv6 l...	fe80:f1a2fa95:aeb9:5251%17
Puerta de enlace predet...	
Servidor DNS IPv6	

Imagen 2

\*Utilizar la dirección IP de su red tal como aparece. Cambie solamente el último dígito(X) por cualquiera (en este caso 192.168.1.X).

5.- Cargar el código dando clic izquierdo en el icono en forma de flecha y conectar los cables correspondientes (imagen 3).

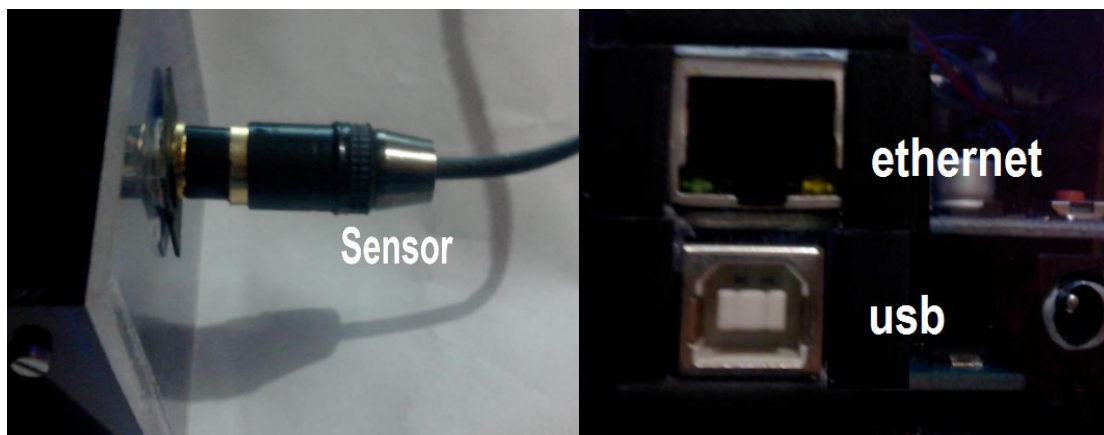


Imagen 3

6.- Conectar el cable Ethernet al modem y al Radiómetro.

7.- Esperar a que enciendan focos de conexión en el dispositivo.

8.- Abrir el navegador de la computadora (o cualquier otro dispositivo dentro de la red) y colocar en la barra de direcciones la dirección IP que se estableció al dispositivo (si no fue modificado colocar 192.168.1.2).

No tengo nada en contra de la Facultad de Ingeniería, al contrario estoy muy agradecido.



Imagen 4

9.- Se mostrara en el navegador la medición de radiación UV e IUV (Imagen 4).

\* Recordar que esta es una conexión de red local y no podrá ser vista desde fuera de la red.

Conexión con aplicación Excel (No requiere cable Ethernet)

Instrucciones:

- 1.- Conectar solamente el sensor y el cable USB del radiómetro a la computadora.
- 2.- Lo primero que tenemos que hacer es instalar Realterm 2.0.0.70 que se encuentra dentro del cd y posteriormente configurarlo.

\*Igualmente puede descargar Realterm libremente desde internet: "[http://es.sourceforge.jp/projects/sfnet\\_realterm/releases/](http://es.sourceforge.jp/projects/sfnet_realterm/releases/)"

3.-En la pestaña Port, establecemos los baudios a 9600, definimos el puerto al que está conectado Arduino, y luego le damos clic en el botón Change (imagen 5).

4.-En la pestaña Capture, examinamos en dónde queremos guardar el archivo, que por defecto este programa crea para guardar los datos (imagen 6).



Imagen 5



Imagen 6

5.- Una vez seleccionada la ubicación del archivo de texto se da clic en el botón Start Overwrite logrando así que se almacenen los datos en el archivo creado (imagen 7).

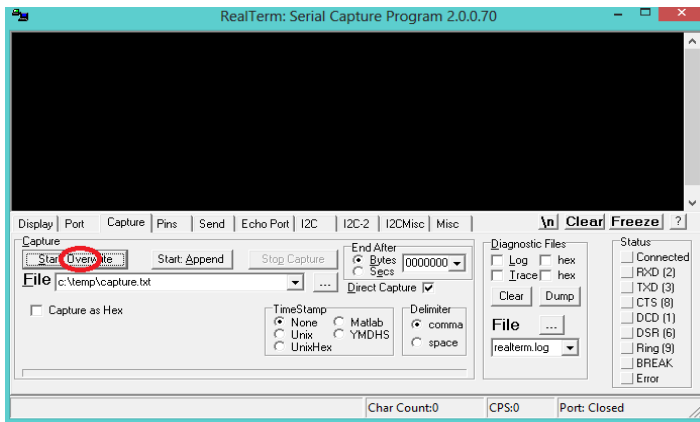


Imagen 7

6.- Después de haber realizado la configuración, abrimos la aplicación de Excel.

\*Para este caso se utilizó Excel 2013.

7.-Damos clic en la pestaña Datos y después se selecciona la pestaña "Desde Texto" (imagen 8).

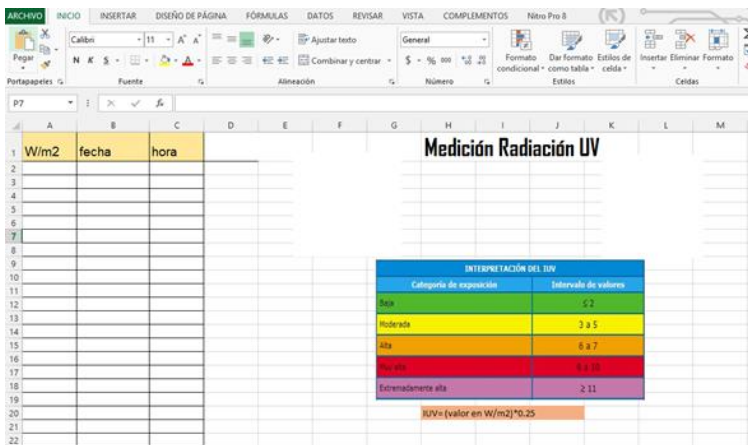


Imagen 8

8.- Escogemos el archivo creado por RealTerm, se abre una ventana, le damos a finalizar (imagen 9).

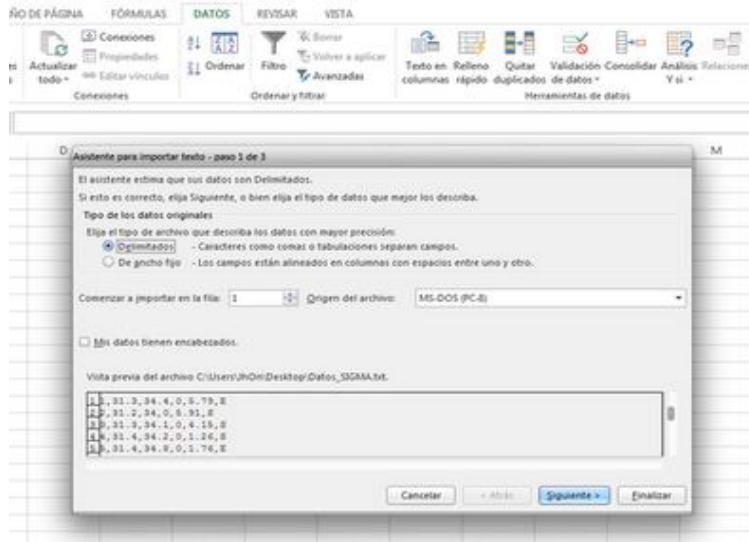


Imagen 9

9.- Se mostrará una nueva ventana, dar clic derecho en la opción propiedades y dentro de esta deseleccionar “solicitar el nombre del archivo al actualizar” y “Ajustar el ancho de la columna”. Seleccionamos “Actualizar cada” colocando el valor de 1 minuto (Imagen 10) y posteriormente aceptar los cambios.

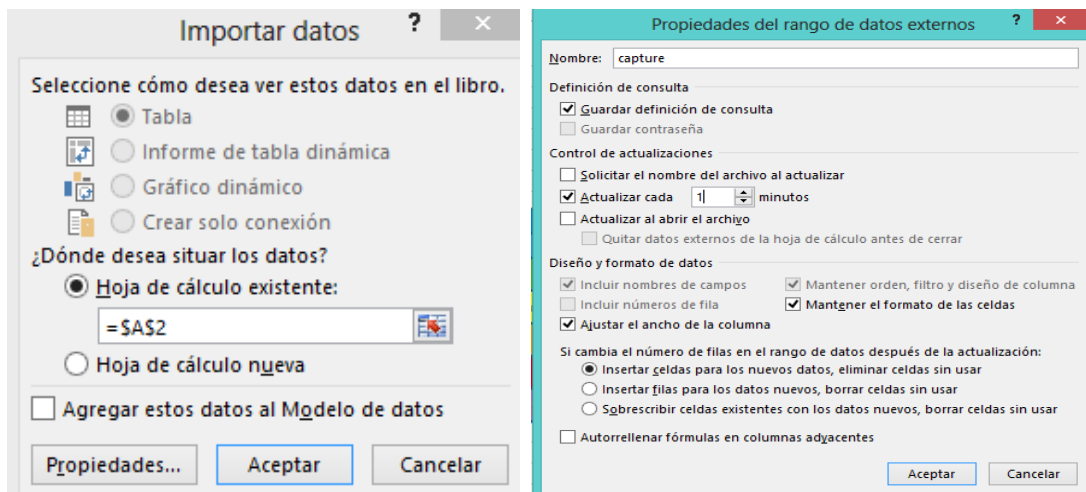


Imagen 10

10.- Después de un periodo de aproximadamente 5 minutos, se empezarán a mostrar las mediciones de radiación UV, la fecha y hora, así como el IUV (Índice UV).

### **Conexión Doble.**

- 1.- Realizar ambas conexiones tal como se describió anteriormente.
- 2.- Usted dispondrá de ambas funciones al mismo tiempo.

### **NOTAS ADICIONALES.**

En caso de que se requiera acceder al dispositivo fuera de la red local se propone la siguiente solución:

### **Establecer una conexión remota con la computadora donde está conectado el radiómetro.**

#### **Acceso remoto con LogMeIn.**

LogMeIn es una aplicación gratuita que te permite manejar ordenadores a distancia a través de un simple acceso a su Sitio Web (<https://secure.logmein.com/MX/>), el programa es muy fácil de usar y le permitirá manejar el PC a un modo tal que parecerá que está tras el teclado.

#### **Pasos a seguir:**

- 1.- Lo primero que se necesita para poder utilizarlo es una Cuenta, si no la tiene, cree una, o si ya la tiene, acceda a su cuenta con su e-mail y contraseña en el Sitio de LogMeIn. Al ingresar a su Sitio Privado con su correo y contraseña tendrá dos opciones: agregar un nuevo PC o conectarse a uno existente.

#### **Agregar un Nuevo PC a LogMeIn:**

- 1.-Hacer clic sobre la Opción “Añadir un Computador” en el Panel de Usuario. El sistema le pedirá que escoja el tipo de producto a utilizar que, en este caso, será el servicio gratuito de LogMeIn, marque la Casilla de “Instalar LogMeIn Free en este Computador” y presione continuar.
- 2.- Se iniciara un proceso de descarga del instalador
- 3.-Siga los pasos que se le indican hasta finalizar la instalación.
- 4.- Dentro de la página de LogMeIn aparecerá el nombre del equipo al cual podrá acceder remotamente haciendo clic sobre él.

## ANEXO 3

### Construcción y operación de la cámara de envejecimiento

#### *Selección de lámparas*

---

El tipo de lámparas más utilizado hoy en día para la simulación solar terrestre son las de arco de xenón. Estas lámparas ofrecen una distribución espectral muy parecida a la radiación proveniente del Sol, con un costo relativamente bajo y una vida útil de aproximadamente 1000 horas, lo que las convierte en la opción más rentable.

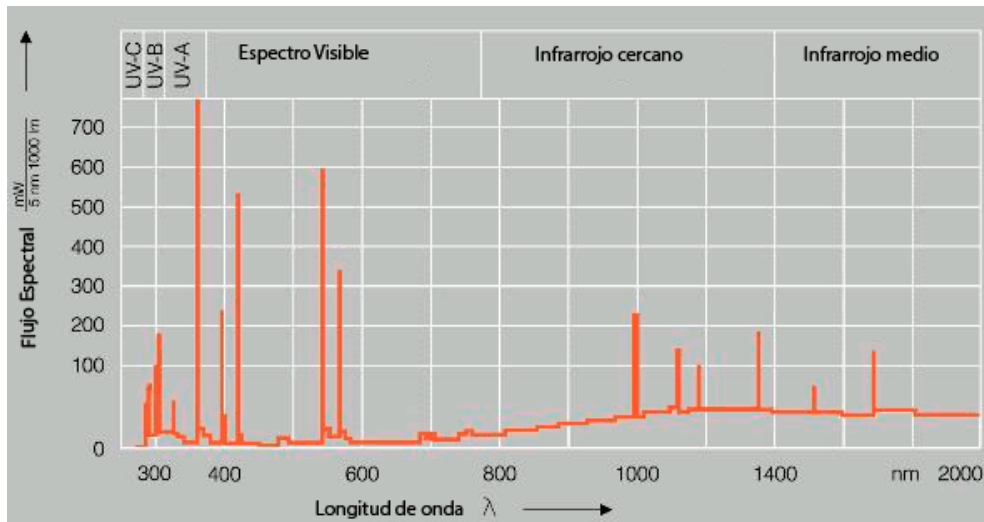
La empresa OSRAM tiene diferentes tipos de lámparas UV, entre las cuales podemos encontrar el modelo ULTRAVITALUX de 300 [W]. El fabricante menciona las siguientes características:

Información eléctrica	
Potencia nominal	300 [W]
Voltaje nominal	230 [V]
Voltaje de la lámpara	230 [V]
Voltaje de construcción	230 [V]
Información fotométrica	
Potencia radiada 315..400 nm (UVA)	13.6 [W]
Potencia radiada 280..315 nm (UVB)	3 [W]
Dimensiones	
Diámetro	127 [mm]
Largo	185 [mm]

Tabla 7 Información lámparas Ultravitalux

De igual forma, el fabricante proporciona la distribución espectral de la lámpara:





Gráfica 3 Espectro lámpara Ultravitalux, datos de fabricante

Como se puede observar en la información obtenida del fabricante, esta lámpara cumple con los requisitos para poder ser utilizada como fuente de radiación en un simulador solar fotovoltaico según la norma IEC-61215. Sin embargo, es necesario realizar las pruebas de espectrorradiometría para confirmar estos datos y conocer el comportamiento real de la lámpara.

#### Caracterización de lámparas por espectrorradiometría.

Para la realización de las pruebas de espectrorradiometría se utilizó un espectrorradiómetro StellarNet Blue-wave, el cual mide en un rango de longitud de onda de 190 hasta 620 [nm].

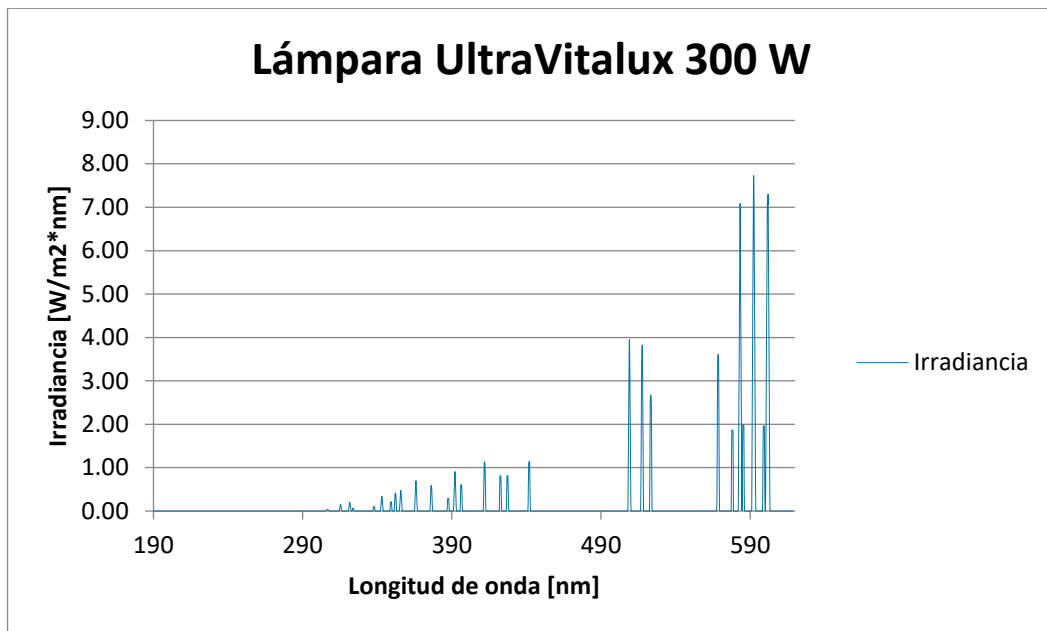
El espectrorradiómetro cuenta con un software llamado spectrawiz, el cual se encarga de procesar la información recabada por el espectrorradiómetro y como resultado final se obtiene la gráfica de irradiancia de la fuente. De igual forma, los datos recabados pueden ser exportados a un archivo de Excel para su análisis y manejo.

El primer objetivo de la prueba de espectrorradiometría es encontrar el punto máximo dónde la lámpara emite la mayor cantidad de radiación, ya que, si ésta se coloca muy cerca del objeto a irradiar, existe una saturación de radiación, por lo que no se obtendrá la máxima eficiencia de la lámpara. De igual forma, si el objeto a irradiar se encuentra demasiado lejos de la lámpara, la radiación emitida por ésta se habrá dispersado y se obtendrá menor radiación que la deseada.

Se realizaron diferentes pruebas colocando a diferentes alturas el espectrorradiómetro con respecto a la lámpara y se concluyó que la altura óptima que debe existir entre ésta y el objeto irradiado es de 15 [cm], estas mediciones fueron realizadas en el centro de la

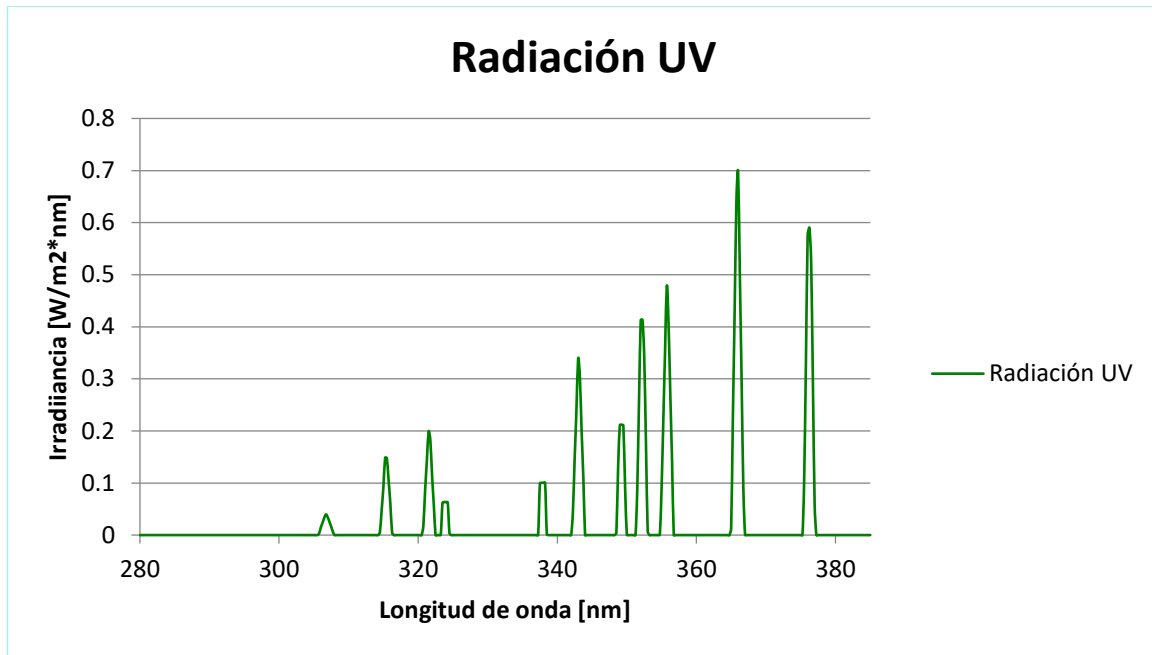
lámpara. Una vez conocida la altura óptima, es necesario conocer cuál es el alcance máximo que tiene la lámpara, por lo que las siguientes pruebas se realizaron colocando el espectrorradiómetro a 15 [cm] de altura y separándolo del centro en dirección horizontal, logrando concluir que el alcance de la lámpara es de 18 [cm].

Con estos datos, se logra obtener el espectro emitido por la lámpara, el cual se muestra en la siguiente gráfica:



Gráfica 4 Espectro lámpara Ultravitalux

En esta gráfica se puede observar que la emisión de la fuente cuenta con componentes de irradiancia tanto en el espectro visible como en la zona de radiación UV, teniendo su valor de irradiancia máxima en los 592 [nm], es decir en la zona del amarillo. Como su nombre lo menciona, las pruebas de acondicionamiento UV necesitan de la radiación UV, por lo que se realiza un acercamiento a las longitudes de onda entre los 280 y 385 [nm], obteniendo la siguiente gráfica:



Gráfica 5 Espectro ultravioleta lámpara Ultravitalux

El área bajo la curva de la gráfica anterior nos da como resultado un total de 13.6  $[\text{W/m}^2]$  aproximadamente, por lo que se concluyó que este tipo de lámpara es apta para pruebas de acondicionamiento UV.

## Montaje

Con base en la norma IEC -61215, el panel fotovoltaico necesita ser irradiado con 15  $[\text{kWh/m}^2]$ , lo que equivaldría a 25 años de exposición solar. En consecuencia, es necesario construir un arreglo de lámparas que nos ayude a lograr esta radiación en el menor tiempo posible.

Se cuenta con una base en forma decagonal, con el mismo número de sockets para poder colocar las lámparas, por lo que se construirá un concentrador solar que se ajuste a estas características.

El concentrador solar más eficiente y sencillo de construir es de tipo conoidal. Para acoplarlo a la base se le dará una forma octagonal, de tal forma que pueda integrarse a la parte decagonal de la base, esto con el fin de reducir el número de vértices que tiene el concentrador y aumentar su eficiencia.

Para la construcción del concentrador solar se utilizó lámina de aluminio de la marca Alanod Aluminium modelo 4270KKS, las cuales, según el fabricante, son para uso en aplicaciones fotovoltaicas.

La siguiente imagen muestra como quedó construido el concentrador solar:



**Fig. 4 Concentrador solar**

Una vez fabricado el concentrador solar, se monta en la estructura junto con las lámparas y como resultado final tenemos la siguiente Figura 32:



**Fig. 5 Estructura cámara de envejecimiento**

Una vez que todo se encuentra instalado, es necesario realizar las pruebas de espectrorradiometría al conjunto de lámparas, para poder conocer cuanta radiación total estamos recibiendo y así poder calcular el tiempo de exposición necesario para alcanzar los 15 [kWh/m<sup>2</sup>] que son requeridos en la norma IEC- 61215.

Al realizar las pruebas de espectrorradiometría se encuentra que el arreglo total de lámparas emite aproximadamente 5 [W/m<sup>2</sup>] de radiación UV, valor que es menor a los 13.6 [W/m<sup>2</sup>] emitidos por una sola lámpara en la misma zona de longitud de onda. Esto nos indica que existe una pérdida de radiación UV, por lo que se sospecha que el material utilizado para la construcción del concentrador solar se encuentra absorbiendo parte de la radiación emitida por las lámparas. Si este arreglo se utilizara para irradiar los paneles fotovoltaicos, se necesitarían aproximadamente 3 meses para lograr alcanzar los 15 [kWh/m<sup>2</sup>] de radiación UV.

En la tesis doctoral llamada: “Eliminación fotocatalítica de H<sub>2</sub>S en aire mediante TiO<sub>2</sub> soportado sobre sustratos transparentes en el UV-A” de la autora Raquel Portela Rodríguez se puede encontrar el siguiente gráfico, dónde se analizan diferentes tipos de aluminio de la marca Alanod Aluminium, con el fin de conocer la reflectancia de estos a diferentes longitudes de onda.

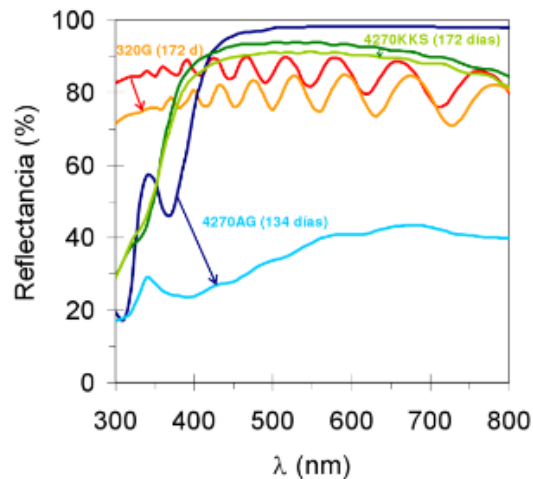


Fig. 6 Reflectancia del aluminio 320G, 4270AG y 4270KKS (Alanod Aluminium GmbH) y pérdida sufrida después de varios meses de envejecimiento en la cámara QUV<sup>21</sup>

Como se logra observar en la gráfica, el aluminio modelo 4270KKS muestra una reflectancia en la zona del ultravioleta no mayor al 70% en el mejor de los casos, siendo menor en la zona del UV-B, por lo que se puede concluir que no es un material apto para la concentración de radiación UV y es el causante de las pérdidas antes mencionadas.

Otra problemática que surgió a partir de la observación fue la forma octagonal del concentrador solar. Al irradiar el panel fotovoltaico con esta forma se obtendrán patrones irregulares, es decir, existirán zonas dónde el panel no habrá sido irradiado y en consecuencia no existirá uniformidad.

Por lo tanto, el material, así como la forma octagonal, utilizados para realizar el concentrador solar, fueron descartados.

Como se puede observar en la figura 30 del capítulo 2, el aluminio sin ninguna aleación, cuenta con una reflectancia en la zona de UV de aproximadamente el 90%, por lo que este material se ha elegido para construir el nuevo concentrador.

Debido a la distribución espectral de las lámparas se decidió realizar un concentrador solar que sea de las mismas dimensiones que el panel fotovoltaico, esto con el fin de contener dentro del área del panel fotovoltaico el mayor número de lámparas posibles, sin que éstas se saturen y la función del concentrador solar será únicamente la de delimitar la zona de radiación, evitando así que parte de la radiación emitida por la fuente salga del área del panel fotovoltaico.

Para evitar la saturación de radiación debido a la cercanía que pudieran tener las lámparas, se han colocado 8 de éstas en una hilera, respetando los 18 [cm] de espacio que debe de haber entre ellas, y 3 hileras a lo ancho del panel, por lo que se tiene un total de 24 lámparas

distribuidas en el área a irradiar. Por lo tanto, se tiene el siguiente montaje preliminar Figura 34:



**Fig. 7** Montaje de la estructura con concentrador solar

Una vez que todo ha sido montado, se colocaron las lámparas, las cuales, según las pruebas de espectrorradiometría realizadas y la reflectancia del nuevo material para el concentrador solar, tendrán un aumento en la radiación UV. A continuación, se muestra la imagen del funcionamiento de la cámara de envejecimiento:

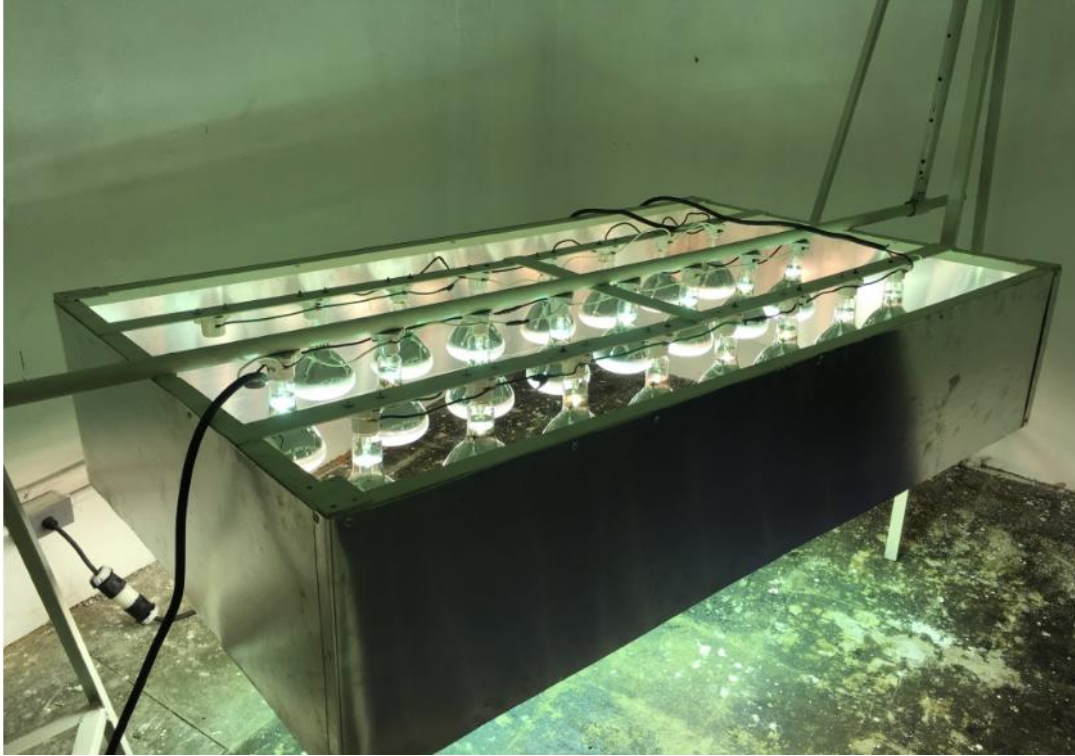


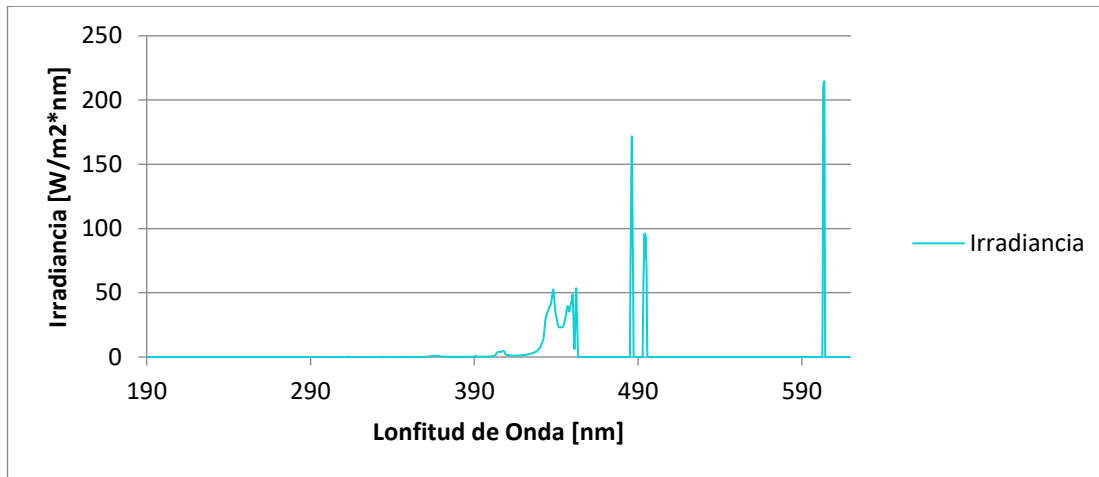
Fig. 8 Funcionamiento cámara de envejecimiento

Pruebas de espectrorradiometría en la cámara de envejecimiento.

Una vez instaladas las 24 lámparas es necesario realizar con el espectrorradiómetro la caracterización del arreglo, para conocer la irradiancia total obtenida por el arreglo de lámparas y poder determinar el tiempo necesario de exposición de los paneles.

De igual manera que en las pruebas anteriores de espectrorradiometría, se utilizará el espectrorradiómetro StellarNet Blue-wave. Una vez procesados los datos se obtiene la siguiente gráfica de irradiancia:





Gráfica 6 Espectro cámara de envejecimiento

En la gráfica 4 se puede observar la irradiancia emitida por la fuente de radiación. El punto máximo se concentra en los 603 [nm], es decir, la zona del amarillo, con un total de 210  $[\text{W/m}^2 \cdot \text{nm}]$  También se observa que en la zona de radiación UV se obtienen más de los 13.6  $[\text{W/m}^2]$  que una sola lámpara nos brinda.

Al obtener el área bajo la curva en la zona de radiación UV de esta gráfica, se obtiene un total de 63.02  $[\text{W/m}^2]$  de radiación UV, por lo que para tener un total irradiado de 15  $[\text{kWh/m}^2]$  es necesario exponer el panel fotovoltaico a 237.94 horas, es decir, 9 días con 21 horas y 36 minutos. Es por eso que se puede concluir que este arreglo es más eficiente que el que se presentó en un principio, por lo que es el ideal para continuar con la prueba de acondicionamiento UV.

#### Pruebas iniciales paneles fotovoltaicos

Para poder obtener un punto de comparación después de haber realizado el acondicionamiento UV, es necesario realizar pruebas de medición de corriente y tensión a los paneles fotovoltaicos antes de ser expuestos al envejecimiento. Estas pruebas se realizan para conocer el comportamiento de los paneles, así como su potencia máxima, mediante la obtención de la curva tensión-corriente. Los paneles fotovoltaicos utilizados para la prueba de acondicionamiento UV son de silicio policristalino y cuentan con la siguiente gráfica teórica de tensión-corriente:

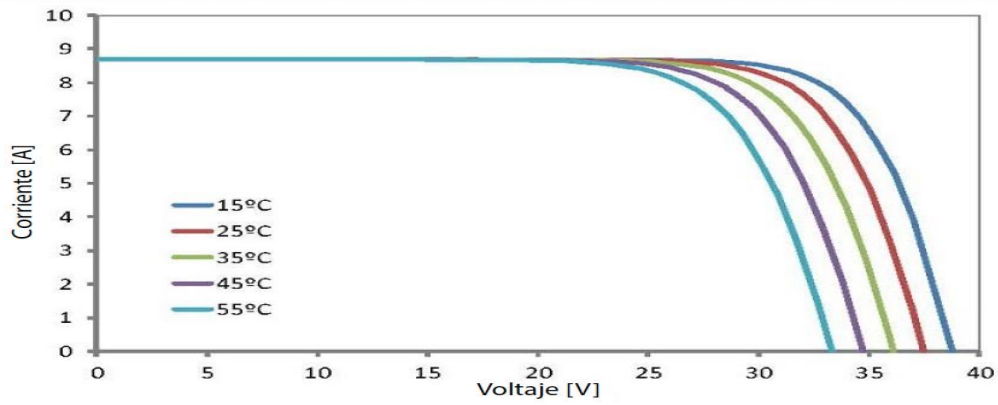
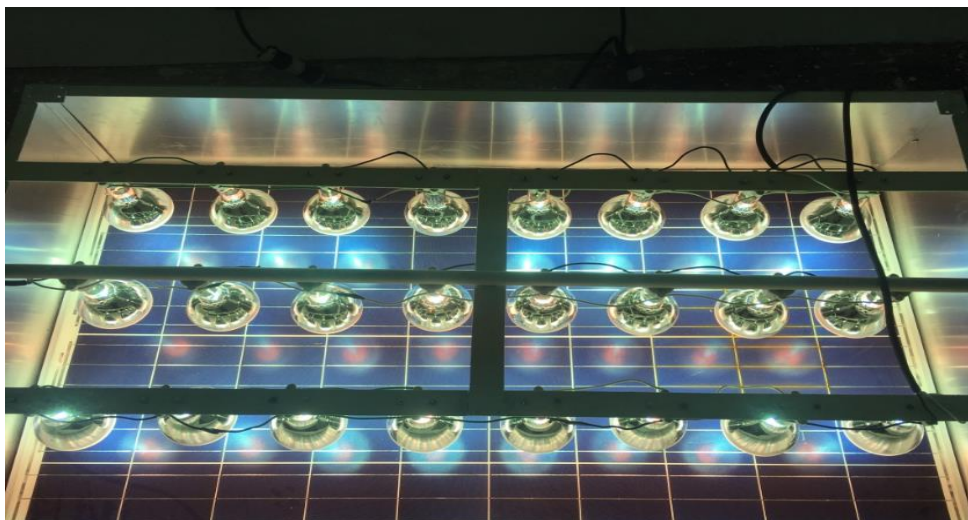


Fig. 9 Corriente-tensión para paneles fotovoltaicos policristalinos a diferentes temperaturas de operación

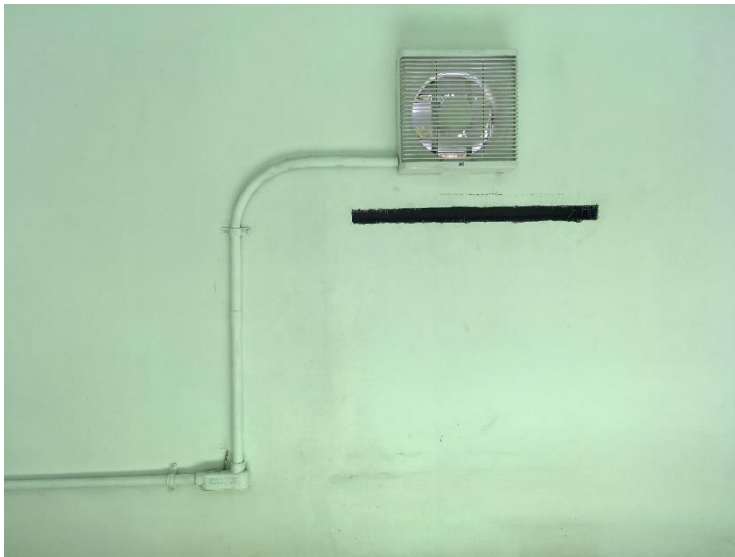
El primer paso para la realización de las pruebas es realizar una inspección visual de los paneles fotovoltaicos y constatar que no se tengan defectos que puedan poner en peligro la instalación y en consecuencia sufrir algún accidente, por lo tanto, se tiene la siguiente bitácora, tomando en consideración los requerimientos de la norma IEC- 61215:

## Operación

Una vez determinadas todas las variables necesarias, el panel es colocado dentro de la estructura, para poder recibir la radiación durante el tiempo establecido (9 días, 21 horas con 36 minutos). Dentro de la cámara se ha colocado un sensor de temperatura, el cual ayudará a monitorear que no se rebasen los 60 [°C], debido a que controla un extractor de aire que es activado a partir de los 25 [°C], si esto no fuera suficiente, una alarma se activará al rebasar los 60 [°C] para dar aviso que es necesario el enfriamiento de la cámara.



**Fig. 10 Operación de la cámara de envejecimiento**



**Fig. 11 Extractor de aire**



**Fig. 12 PLC conectado al sensor de temperatura y extractor de aire**

Artículo publicado

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SciVerse ScienceDirect

Energy Procedia 00 (2013) 000–000

Energy  
Procedia[www.elsevier.com/locate/procedia](http://www.elsevier.com/locate/procedia)

2013 ISES Solar World Congress

## Modeling Ultraviolet radiation for the Mexican conditions.

Angelica Quiñones<sup>a\*</sup>, Rafael Almanza<sup>a</sup><sup>a</sup> Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), C.P. 04510, Coyoacán, México, D.F., México

## Abstract

Water pollution is an important problem in Mexico like in other countries around the world; so the UV Solar radiation can be useful for the detoxification of water, but unfortunately now a day, in Mexico doesn't exist robust data bases about Solar UV radiation and it is the first obstacle to develop projects like that. By other hand, the UV Solar Radiation is the responsible to provoke a lot of diseases like cataracts and melanoma and can detonate other illnesses. In Mexico, cataracts are considering a public health problem according with the health sector.

First was found a correlation between global radiation and UV radiation in Mexico City, taking advantage of the existing larger amount of databases on global radiation. In order to find an appropriate model; it was first necessary to perform a statistical and seasonal analysis of global and UV radiations, concluding that a linear model was the one approaching most between both variables. As results for Mexico City, UV radiation equals to 3.57% of horizontal global radiation. The next step was to study the influence of cloudiness on the results obtained; so, the clearness index was analyzed to that end. An interesting finding is that during the summer, when most of the days are partly cloudy, higher levels of UV radiation are reached because the small water drops in the atmosphere play like a small lenses; and this is a factor that directly affects the UV radiation flow.

For this reason this work aims to develop a UV radiation statistical model for Mexican conditions and this will be validated using spectral models (SMARTS by Gueymard) and ground measures that will be taken with radiometers carefully calibrated and UV spectrometers.

© 2013 The Authors. Published by Elsevier Ltd.  
Selection and/or peer-review under responsibility of ISES

*Keywords:* Modeling, Ultraviolet radiation, Mexican conditions

\*Corresponding author. Tel 52 55 56233609  
E-mail address: [lquinonesj@ingen.unam.mx](mailto:lquinonesj@ingen.unam.mx)

## 1. Introduction

The progressive increase in ultraviolet (UV) radiation that reaches the Earth's surface as a result of the decrease of ozone in the stratosphere has highlighted the importance of avoiding prolonged exposure to sunlight to prevent damage to health. The problems of biological, ecological and physical produced by this type of solar radiation in recent years, have aroused considerable interest in deepening their study, in many countries.

UV radiation is used in processes of photodecomposition of organic residues present in contaminated water, and photodegradation plastics and natural or synthetic fibers; however, the exposure to UV radiation can also cause diseases such as skin cancer and cataracts.

To facilitate the study, UV radiation is subdivided into three bands: UVC (100-280 nm), which is completely absorbed by the ozone layer, UVB (280-315 nm), which is partially absorbed and scattered in the atmosphere, and UVA (315-400 nm), which represents the largest type of UV radiation received by the Earth's surface. Considering the spectral solar irradiance in space bands UVB and UVA represent only 7.45% of the total radiation emitted by the Sun that influences Earth before passing through the atmosphere. After passing through the atmosphere, the radiation UV type A and B represents the 5.90 and 1.33% respectively [1].

UV irradiance can be determined in two ways: by direct measurement or by some method of estimation. The spectroradiometers are appliances that are used to determine the amount of energy being received and know wavelength of that energy.

Unfortunately the cost of such equipment dramatically increases when adjusted for measurement in these wavelengths, so they are used alternatively solarimeters.

The stratospheric ozone containing a layer around the earth thereby protecting mortal biosphere UV radiation from the sun, but the decrease in the ozone layer in the stratosphere has increased UV radiation which reaches the surface Terrestrial. Because of this, it is important to quantify the UV radiation received, since it is capable of breaking some types of biological molecules such as DNA [2].

The spatial and temporal variation of the irradiance of UV radiation on the surface of the earth depends on factors such as latitude, altitude and local weather conditions. The resulting effects of sky conditions, such as water vapor, aerosols and ozone amount also affect the transmission of ultraviolet radiation on the earth's surface. Thus, the composition and concentration of the air vary according to geographical position, elevation and time of year.

Earth's atmosphere is composed of about 99% of molecular nitrogen ( $N_2$ ) and molecular oxygen ( $O_2$ ) also contains water vapor and aerosols. The content of water vapor and aerosols in the atmosphere is highly variable, however, to examine the opacity of the atmosphere to solar rays, the components are grouped into the atmosphere: dry air molecules, water vapor and aerosols, in order to know to what extent the solar radiation is attenuated (scattered or absorbed) by each of these variables of the atmosphere [3].

**Nomenclature**

$H_{UV}^h$	Hourly value of UV component of solar irradiance at the surface ( $W/m^2$ )
$H_G^d$	Daily average value of global irradiance at the surface ( $W/m^2$ )
$H_G^h$	Hourly value of global solar irradiance at the surface ( $W/m^2$ )
$I_0$	Solar Irradiance at the surface ( $W/m^2$ )
$I_{UV}$	UV component of Solar irradiance at the surface ( $W/m^2$ )
$K_T$	Clearness index
$K_T^h$	Hourly value of Clearness index
$K_T^d$	Daily value of Clearness index

**2. Data Analysis**

The global, diffuse and UV solar radiation has been measured since the year 2010 in the IINGEN Radiometric Station this was installed in the IINGEN Solar Plant and it is located in the center of Mexico ( $19^{\circ}19'N$ ,  $99^{\circ}11'O$ , 2324 msnm). The measurements have been taken every second and the data base contends dates which are the average of five minutes. The global radiation is measure with a pyranometer LI-COR model PY26523 and the UV radiation is measure with a radiometer Eppley model TUVR.

The Hourly data base has been generated since January 2010 until this days, for this reason can be sure that many stationery periods have been covered. The calibration of this instruments haven been taken carefully each year and the cleanness has been made each week and if is necessary each day. And important observation is that in Mexico exist data bases of global radiation, but no for UV radiation, for this circumstance is important to establish a correlation between two variables to determinate the levels of UV radiation from the global radiation.



Fig. 1. Radiometric Station

3. Results and discussion

3.1 Lineal UV Radiation Model

The behavior of global radiation and UV radiation follow the same oscillation sequence was deduced that the model which best describe this tendency is a lineal model in the case of Mexico City the results are in the table 1

Table 1. Lineal models into global radiation and UV radiation for Mexico City

Season of the year	m	r	R <sup>2</sup>	
Spring	0.036	0.993	0.986	H <sub>UV</sub> =0.036*H <sub>G</sub> ±2.109
Summer	0.039	0.984	0.965	H <sub>UV</sub> =0.039*H <sub>G</sub> ±2.9
Autumn	0.035	0.940	0.884	H <sub>UV</sub> =0.035*H <sub>G</sub> ±6.33
Winter	0.033	0.999	0.998	H <sub>UV</sub> =0.033*H <sub>G</sub> ±0.462

As a conclusion of the study is to be in Mexico City, Ultraviolet radiation corresponds to 3.57% of the global horizontal irradiance and therefore is deduced the following equation to calculate the hourly ultraviolet radiation for the Mexico City conditions.

$$H_{UV}^h = 0.0357 \cdot H_G^h \pm 2.9 \tag{1}$$

Other authors have obtained similar relationships, for example in the case of Spain in Granada obtained the UV irradiance represents 4% of the global irradiance in Almeria this value is 3.7% Subsequently using this correlation and the results obtained of Global Irradiation by Estrada-Cajigal [4] can be obtained UV irradiance results. For this model only took into account the maximum periods of global irradiation and minimal.

Table 2. Minimal UV irradiance results for some locations in Mexico.

Location	H <sub>G</sub> <sup>h</sup> (Estrada-Cajigal) W/m <sup>2</sup>	H <sub>UV</sub> <sup>h</sup> calculate (W/m <sup>2</sup> )	Season of the year
Veracruz, Tamaulipas	222	8	Winter
Yucatan, Quintana Roo, Campeche	296.3	11	Winter
Nayarit	333.3	12	Winter
Mexico City, Chihuahua	444.44	16	Winter



Table 3. Maximum UV irradiance results for some locations in Mexico.

Location	$H_0^{\text{max}}$ (Estrada-Cajigal) $\text{W/m}^2$	$H_{0v}$ , calculate $(\text{W/m}^2)$	Season of the year
Baja California, Sonora, Mexico City, Chihuahua	1148	41-42	Summer
Coahuila, Nuevo Leon, Tamaulipas	1000-1037	37-38	Summer
Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Michoacan	666-814	24-29	Summer

3.2 Clearness Index Analysis.

To determine the correlation between UV radiation and cloudiness was necessary to study the sky clearness index and was used the sky classification proposed by Escobedo Joao [5]. Table 4 for this reason was necessary to make a seasonal classification such as the following figures.

Table 4. Sky Clearness index classification by Escobedo Joao [5].

Category	Sky condition	Description
1	$K_p^{\text{d}} \leq 0.35$	The direct radiation is zero, cloudy sky.
2	$0.35 < K_p^{\text{d}} \leq 0.55$	The diffuse component is larger than direct component, partially cloudy with predominance of diffuse component.
3	$0.55 < K_p^{\text{d}} \leq 0.65$	The direct component is larger than diffuse component, the sky condition is partially cloudy with predominance of direct component.
4	$K_p^{\text{d}} > 0.65$	Clear sky

Author name / Energy Procedia 00 (2013) 000-000

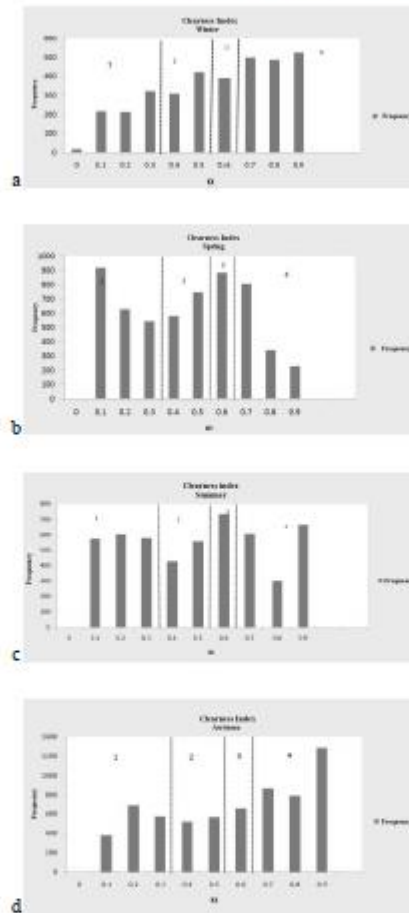


Figure 2. (a) Frequency distribution of clearness index, winter, (b) Frequency distribution of clearness index, spring, (c) Frequency distribution of clearness index, summer, (d) Frequency distribution of clearness index, autumn. Vertical dashed lines define the regions of  $K_t$  values associated to the sky conditions.

The most important effect was occurred in the summer despite of that exist a predominance of the days type 3 when the sky condition is partially cloudy with predominance of direct component in this case. An interesting finding is that during the summer, when most of the days are partly cloudy, in this case the highest levels of UV radiation were  $42 \text{ W/m}^2$ .

#### 4. Conclusion

The hourly global and ultraviolet irradiation over a horizontal surface, have been analyzed for Mexico City since 2010 in order to establish their relationship for the two variables. From this model of UV radiation will be possible to know what is the amount of UV energy receive in the Mexican surface, this tool will allow to decide which places are particularly interesting in order to make terrestrial measures with the objective to validate the model. This will build a robust database, so that there will be a tool that will assess and validate and spectral parametric models such as SMARTS, designed by Chris Gueymard, for the conditions of Mexico with ground measured data. This research opens the door for them to make a model that takes into the more input variables such as: data from satellites, albedo, ozone column, altitude and topographical conditions of the regions, in order to obtain a model with higher accuracy. As mentioned in the introduction, the measurement and modeling of the ultraviolet radiation is relevant because this energy is important: the degradation of materials, photocatalytic oxidation and predicting erythematic index, among others. With the clearness index was possible to give explication for some effects like when the sky is partially cloudy, but when is predominant the solar radiation direct component exists the highest levels of UV radiation because tiny water drops play like a small lenses, and this is a factor that directly affects the UV radiation flow. In Mexico the highest levels of UV radiation was in summer and according with this model, the places where are more UV potential are Baja California, Sonora, Mexico City and Chihuahua.

#### Acknowledgements

Thanks for the IINGEN-UNAM and CONACyT

#### References

- [1] Iqbal, M., *An introduction to Solar Radiation*, Academic Press, Toronto;1983
- [2] Al-Aruri, S D., *The empirical relationship between global radiation and global ultraviolet (0.290-0.385) nm solar radiation components*, *Solar Energy*, 45, 61 - 64;1990
- [3] Lion, KN, *An introduction to atmospheric radiation*, *Internal Geophysics Series*, 84;2002
- [4] Estrada-Cajigal, Almanza R., *Irradiations global direct and diffuse horizontal and inclined surfaces, and direct normal irradiation, in Mexico Series II-UNAM, Mexico;2005*
- [5] Escobedo, J F, y Gomes, E N., *Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil*, *Applied Energy*, 86, 299 - 309; 2009

## REFERENCIAS

- [1] Al-Aruri SD. The empirical relationship between global radiation and global ultraviolet (290–385 nm) solar radiation components. *Solar Energy* 1990; 45:61–4.
- [2] Cañada J, Pedro's G, López A, Bosc JV. Influences of the clearness index for the whole spectrum and of the relative optical air mass on UV solar irradiance for two locations in the Mediterranean area, Valencia and Córdoba. *J. Geophysics. Res.* 2000;105(4):4759–66.
- [3] Elhadidy MA, Abdel-Nabi DY, Krus PD. Ultraviolet Solar radiation at Dhahran, Saudi Arabia. *Solar Energy* 1990; 44:315–9.
- [4] Feister U, Grasnck KH. Solar UV radiation measurements at Postdam (52°22'N, 13°5'E). *Solar Energy* 1992; 49:541.
- [5] Foyo-Moreno I, Vida J, Alados-Arboleda L. A simple all weather model to estimate ultraviolet solar radiation (290–385 nm). *J. Appl. Meteor* 1998; 38:1020–6.
- [6] Martinez-Lozano JA, Tena F, Utrillas MP. Measurement and analysis of ultraviolet solar irradiation in Valencia, Spain. *Int. J. Climatol* 1996; 16:947–55.
- [7] Martinez-Lozano JA, Tena F, Utrillas MP. Ratio of UV to global band irradiation in Valencia, Spain. *Int. J. Climatol* 1999; 19:903–11.
- [8] Iqbal M. An introduction to solar radiation. New York: Academic Press, 1983.
- [9] Pérez AJ, editor. Atlas Climático de la Comunidad Valenciana (1961–1990). Valencia: COPUT, Generalitat Valenciana; 1994. (in Spanish).
- [10] INE. Anuario estadístico de 1993. Instituto Nacional de estadística, 1994 (in Spanish).
- [11] Kasten F. Discussion on the relative optical air mass. *Lighting Res. & Tech.* 1993;25(3):129–30.
- [12] J.A. Parrish, K.P. (1982). Erythema and melanogenesis action spectrum of normal human skin. *Photochem. Photobiol.*, 36, 187-191.
- [13] Giacomoni Paolo U. (2001) Sun protection in Man. *Comprehensive Series in Photosciences Vol 3*, Elsevier
- [14] Kerr J.B., Seckmeyer "Surface Ultraviolet Radiation: Past and Future" *J. Geophysics. Res.*, 107(D23)
- [15] Gueymard C. "SMARTS2, A Simple Model of the Atmospheric Radiative Transfer of Sunshine: Algorithms and performance assessment", December 1995.

- [16] Jacovides C.P., Kaskaoutis “Application of SPCTRAL2 parametric model in estimating spectral solar irradiances over polluted Athens atmosphere” *Renewable Energy* 29(2004) 1109-1119.
- [17] Murillo W., Cañada J. “Correlation between global ultraviolet (290-385nm) and global irradiance in Valencia and Cordoba (Spain)” *Renewable Energy* 28 (2003) 409-418
- [18] Barbero F.J., López G. “Determination of daily solar ultraviolet radiation using statistical models and artificial neural networks” *Annales geophysical* 24 (2006) 2105-2114.
- [19] Sabburg J.M., Parisi A.V. “Enhanced spectral UV irradiance: a 1 year preliminary study” *Atmospheric Research* 66(2003) 261-272
- [20] Gröbner J., Vergaz R., “Intercomparing of aerosol optical depth measurements in the UVB using Brewer spectrophotometers and a Li-Cor spectrophotometer” *Geophysical Research Letter* 28 (2001) 1691-1694
- [21] Foyo-Moreno I., Vida J. “Ground based Ultraviolet (290-385 nm) and broadband solar radiation measurements in south-eastern Spain” *International Journal of Climatology* 18 (1998) 1389-1400
- [22] Madkour M.A. El-Metwally M. “Comparative study on different models for estimation of direct normal irradiance (DNI) over Egypt atmosphere” *Renewable Energy* 31 (2006) 361-382
- [23] Foyo-Moreno I., Vida J. “Estimating solar ultraviolet irradiance (290-385 nm) by means of the spectral parametric models: SPCTRAL2 and SMARTS2” *Annales Geophysical* 18 (2000) 1382-1389
- [24] Gueymard C., Myers D., “Proposed reference irradiance spectra for Solar Energy system testing” *Solar Energy* 73 No 6 (2002) 443-467
- [25] Gueymard C., “Direct solar transmittance and irradiance prediction with broadband models. Part I: detailed theoretical performance assessment” *Solar Energy* 74(2003) 355-379
- [26] Blumthaler M. Ambach W. “Increase in solar UV radiation with altitude” *Journal of Photochemistry and photobiology* 39 (1997) 130-134
- [27] Kent Tobiska W. “Recent Solar Extreme Ultraviolet Irradiance Observations and Modeling: A review” *Journal of geophysical research*, vol. 98 (1993) 879-893
- [28] Myres D., “Solar radiation modeling and measurements for renewable energy applications: data and model quality” *Energy* 30 (2005) 1517-1531

[29] Escobedo Joao F., Gomes Eduardo N., “Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil” *Applied Energy* 86 (2009) 299-309.

[30] Quiñones A., Almanza R. “Transmitancia de la radiación ultravioleta en diferentes medios para su aplicación en proyectos de energía solar” Tesis de Licenciatura UNAM 2009.

[31] Quiñones A., Almanza R. “Modernización de la Estación Meteorológica de la Planta Solar del Instituto de Ingeniería UNAM” *Ingeniería de la Energía Solar Series del Instituto de Ingeniería*.

[32] Quiñones A., Almanza R. “Modeling UV radiation over Mexican Conditions” 2014, *Energy Procedia* Vol 57, 1220-1226.

[33] Perez T. M, Quiñones A, “Diseño de un radiómetro ultravioleta, para su aplicación en modelos de radiación UV”, Tesis de Licenciatura UNAM 2014

[34] Lugo A, Quiñones A; “Diseño y operación de una Cámara de Envejecimiento para ensayos de preacondicionamiento a paneles Fotovoltaicos.” Tesis de Licenciatura UNAM 2017