



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

---

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas

---

Análisis del índice UV para radiación UVB desde 2000  
hasta 2022 en la Ciudad de México

Tesis presentada al

**Colegio de Física**

como requisito parcial para la obtención del grado de

**LICENCIADO EN FÍSICA APLICADA**

por

Fabio Ángel Sánchez Arévalo

Asesorado por

Dr. Cristian Heber Zepeda Fernández

Dr. Eduardo Moreno Barbosa

Puebla Pue.  
Mayo de 2024





Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

---

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas

---

Análisis del índice UV para radiación UVB desde 2000  
hasta 2022 en la Ciudad de México

Tesis presentada al

**Colegio de Física**

como requisito parcial para la obtención del grado de

**LICENCIADO EN FÍSICA APLICADA**

por

Fabio Ángel Sánchez Arévalo

Asesorado por

Dr. Cristian Heber Zepeda Fernández

Dr. Eduardo Moreno Barbosa

Puebla Pue.  
Mayo de 2024



**Título:** Análisis del índice UV para radiación UVB desde 2000 hasta 2022 en la Ciudad de México

**Estudiante:** FABIO ÁNGEL SÁNCHEZ ARÉVALO

COMITÉ

---

Dr. Javier Miguel Hernández López  
Presidente

---

Dr. Lucio Fidel Rebolledo Herrera  
Secretario

---

Dr. Benito de Celis Alonso  
Vocal

---

Dr. Jorge Velázquez Castro  
Suplente

---

Dr. Cristian Heber Zepeda Fernández  
Asesor



# Agradecimientos

Agradezco a todas las personas que me han apoyado a lo largo de mi trayectoria en la FCFM. Gracias a mis padres por su paciencia, amor y apoyo en todo, durante la carrera y en mi vida en general. Gracias a mi novia Daniela por todo lo que me ha dado y por su ayuda con los aspectos técnicos de  $\text{\LaTeX}$  que me dieron problemas en más de una ocasión mientras realizaba esta tesis. Por último, gracias al Dr. Heber Zepeda por ser un buen asesor.



# Resumen

La exposición a los rayos ultravioleta tipo B puede causar daños graves en el cuerpo humano, dentro de los cuales, la posibilidad de desarrollar cáncer de piel es la más peligrosa. Consultar el índice ultravioleta para rayos tipo B (IUVB), emitido diariamente, es un modo de prevención efectivo.

Se realizó un análisis de este parámetro desde 2000 hasta 2022, sin considerar el 2019 según datos de 5 estaciones de monitoreo en la Ciudad de México. En la Ciudad de México, existen estaciones meteorológicas que recaban datos de intensidad para los rayos ultravioleta todo el año. Estos datos deben transformarse en índice UV, que es un parámetro que permite conocer esta intensidad para tomar las medidas de protección adecuadas. Debido a la manera en la que se almacenan dichos datos, es difícil llevar un registro del estado del índice UV y su evolución a través de los meses y de los años. Este es un problema que habilita ideas erróneas, por ejemplo, que la exposición al sol es completamente segura en algunos horarios, meses o temporadas y que esto se mantiene igual a través de los años, lo que conlleva consecuencias negativas en el cuidado y la salud.

Con el fin de conocer el índice UV y su evolución en los diferentes meses y a través de los años, se evaluaron las horas en las cuales el IUV fue más alto, su máximo, promedio, valor de la integral y valor más probable por mes y año. Se encontró que el horario en que el IUVB fue más alto abarca desde las 11 de la mañana hasta las 4 de la tarde. Se observó que este periodo cambia según las estaciones del año: es mayor en primavera y verano. Además, se observó que el valor más probable se encuentra entre los valores más bajos y que, tanto el máximo, valor de la integral y promedio varían mensualmente pero se han mantenido prácticamente constantes a lo largo de los años, a excepción de algunos picos en años puntuales.



# Índice general

<b>1.</b>	<b>4</b>
1.1. Introducción . . . . .	4
1.1.1. Radiación Solar . . . . .	4
1.1.2. Radiación ionizante y no ionizante . . . . .	6
1.1.3. Efectos de la radiación UV en el cuerpo humano . . . . .	9
1.1.4. El índice UV . . . . .	12
1.2. Planteamiento del problema . . . . .	14
1.3. Estado del arte . . . . .	14
1.4. Índice UVB en la Ciudad de México . . . . .	15
1.4.1. Recomendaciones de protección ante los rayos UV . . . . .	16
1.5. Hipótesis . . . . .	18
1.6. Objetivo general . . . . .	18
1.7. Objetivos específicos . . . . .	18
<b>2. Metodología</b>	<b>19</b>
2.0.1. Adquisición y preprocesamiento de datos . . . . .	19
2.0.2. Procedimiento . . . . .	20
<b>3. Resultados y discusión</b>	<b>21</b>
<b>4. Conclusiones</b>	<b>39</b>

# Capítulo 1

## Estructura de la Tesis

En este capítulo se proporciona el contexto y la base conceptual necesaria para la comprensión de la tesis a través de la definición de conceptos clave, la revisión de la literatura existente sobre el tema y la formulación de la hipótesis y los objetivos. En el segundo capítulo se describe la metodología empleada para la obtención de resultados, mismos que se presentan en el capítulo subsecuente. Finalmente, en el último capítulo se presentan las conclusiones, extraídas a partir de los resultados observados.

### 1.1. Introducción

#### 1.1.1. Radiación Solar

El sol emite una radiación de cuerpo negro que está definida por la temperatura de su superficie. Esto se refiere a una radiación continua de diferentes longitudes de onda para cualquier cuerpo con una temperatura arriba del cero absoluto. La curva de cuerpo negro del sol involucra radiación electromagnética en todas las longitudes de onda del espectro. Estas ondas electromagnéticas son generadas por diferentes procesos que ocurren en el Sol; principalmente, las reacciones del hidrógeno en su núcleo mediante fusión nuclear.

Al hablar de radiación solar se suele hacer énfasis solamente sobre tres tipos de radiación pues, si bien el tipo de radiación que emite el Sol abarca todo el espectro electromagnético, la mayoría se ubica en la banda del ultravioleta, visible y el infrarrojo cercano, entre 200 y 3000 nanómetros (nm). Además, todos los rayos X y gamma son filtrados antes de llegar a la superficie terrestre[9].

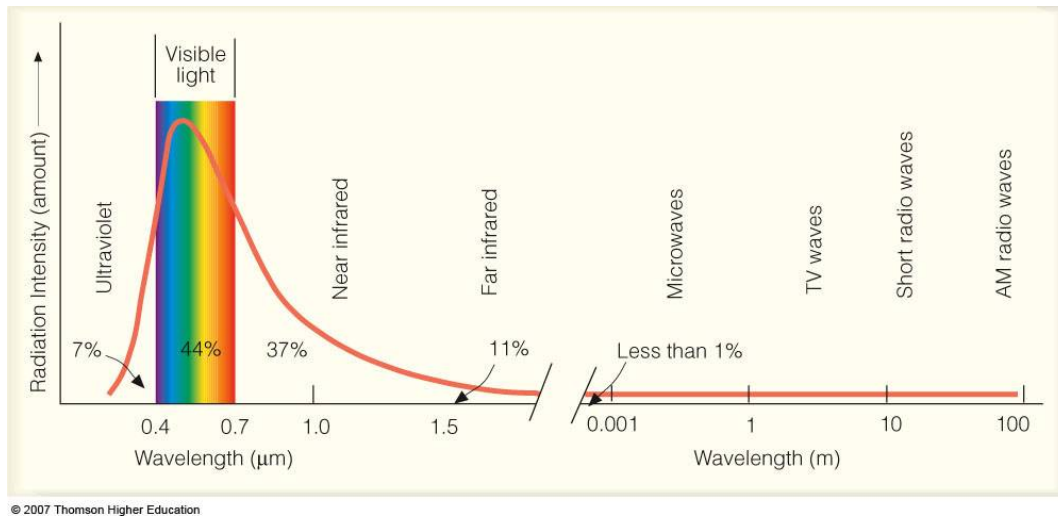


Figura 1.1: Curva de radiación para el Sol

## Luz visible

La mayor cantidad de radiación emitida por el sol se encuentra aquí y es la razón de que podamos observar los objetos que son parte de nuestra realidad. El espectro visible es la región del espectro electromagnético que el ojo humano puede percibir. Se trata de un rango de longitudes de onda para el que no se conocen límites exactos. Típicamente, este espectro abarca longitudes de onda de los 400 a los 700 nm, aunque algunas personas son capaces de percibir longitudes de onda desde 380 a 780nm.

A su vez, el espectro de luz visible se subdivide en rangos de longitudes de onda que dan paso a los colores. Se llaman colores puros o monocromáticos aquellos colores en el espectro visible que pueden ser formados por una sola longitud de onda. Estos son: violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo. Sus rangos se pueden observar en la tabla de abajo.

Color	Wavelength (nm)
Violet	380-450
Blue	450-495
Green	495-570
Yellow	570-590
Orange	590-620
Red	620-750

Figura 1.2: Colores monocromáticos con su longitud de onda asociada.

El resto de colores que percibimos se forma a partir de combinaciones de longitudes de onda e intensidades. Por ejemplo, la luz blanca es producida al mezclar rayos de luz de intensidades aproximadamente iguales de colores complementarios[10].

## Radiación infrarroja

Se refiere a la parte del espectro electromagnético que abarca de los 0.7 a los 1000 micrómetros( $\mu\text{m}$ ). Se divide en tres regiones llamadas infrarrojo cercano (0.7-3 $\mu\text{m}$ ), infrarrojo medio (3-15 $\mu\text{m}$ ) e infrarrojo lejano (15-1000 $\mu\text{m}$ ).



Figura 1.3: Región correspondiente al infrarrojo dentro del espectro electromagnético.

Puesto que está fuera del espectro visible, es imposible para el ojo humano observar las ondas infrarrojas, sin embargo, es posible detectarla como calor. Este tipo de radiación encuentra aplicación en diversos campos; quizás la más común es su uso en los controles remotos para cambiar el canal de la televisión. Otra de las funciones más conocidas son las imágenes térmicas. Se aprovecha del hecho de que algunos objetos, como los humanos, emiten ondas de radiación infrarroja, que son posibles de ver con instrumentos especiales[11]. Esto conlleva la posibilidad detectar patrones anormales de calor y con ello la capacidad de localizar potenciales anomalías que requieran atención. Además, esta técnica muy efectiva, pues la radiación térmica puede penetrar gases, aerosoles, polvo, neblina, etc. De manera más eficaz que la luz visible[12].

### Radiación ultravioleta

La radiación ultravioleta (UV) es parte de el espectro electromagnético. Se ubica fuera de el espectro visible, con longitudes de onda menores a las de la luz visible y mayores a los rayos X. Las longitudes de onda de la radiación UV abarcan de 400 a 100 nm.

Es una forma de radiación no ionizante, esto quiere decir que carece de la energía suficiente para eliminar un electrón de un átomo o molécula, sin embargo, esta radiación puede generar efectos sobre los tejidos y daños importantes que se abordaran más adelante.

La radiación UV es emitida por superficies de altas temperaturas como el sol, en un espectro continuo y por fuentes artificiales, a través de la excitación atómica en un tubo de descarga de gas en un espectro discreto[13].

Con base en la interacción de las longitudes de onda de la radiación UV con los materiales biológicos, esta se ha clasificado en tres tipos; UVA (400-315nm), UVB (315-280nm), responsable de los efectos más conocidos de la radiación UV en los organismos, como daños celulares y UVC (280-100nm). Estos últimos no llegan a la superficie de la tierra pues son completamente absorbidos en la atmósfera, por lo mismo, se conoce poco del daño que inducen en el cuerpo. La mayoría de la radiación UV producida por el sol es absorbida por la capa de ozono, el vapor de agua, oxígeno y dióxido de carbono en la atmósfera. De aquellos que si alcanzan la superficie de la Tierra, aproximadamente el 95 % corresponden a rayos UVA[14].

#### 1.1.2. Radiación ionizante y no ionizante

La radiación se puede clasificar en ionizante y no ionizante, según su nivel de energía. La radiación ionizante, que puede estar formada por partículas u ondas electromagnéticas de muy alta frecuencia, tienen la energía suficiente para producir la ionización de un átomo. Este es un proceso en el cual los electrones en las órbitas de un átomo absorben la energía de un fotón incidente, lo que resulta en una expulsión de dicho electrón fuera del átomo. Esto significa que puede cambiar la composición química del material con el que interactúa. En el tejido vivo, esto puede resultar en daños al ADN, mutación o muerte de células, entre otras. Ejemplos de radiación ionizante son las partículas alfa, las partículas beta, los rayos x y rayos gamma[15]. En dosis grandes puede causar quemaduras, náuseas, cáncer, entre otros efectos. Es por eso que para las radiografías se utilizan

muy pequeñas dosis de rayos X [16] y el proceso dura poco tiempo. En cambio, la radiación no ionizante tiene una energía menor y no es capaz de ionizar otros átomos. Si bien la radiación UV cae dentro del último grupo, su energía es lo suficientemente alta para causar efectos en la piel humana por medio de la excitación atómica en ciertas moléculas como la del ADN.

### Penetración de la radiación UV en la piel

A diferencia de los rayos X, la radiación UV tiene un poder de penetración bajo. Por lo tanto, afecta directamente el cuerpo humano, pero se limita a la piel.

Los fotones de alta energía de los rayos UVB son atenuados en gran manera por el estrato córneo, que es la capa más externa de la epidermis y en capas más profundas de la epidermis, la radiación UV es absorbida por la melanina, el ADN, los aminoácidos, entre otros.

Cada tipo de rayo tiene una diferente profundidad de penetración. En la piel clara, 20 a 30 % de los fotones en el rango de los UVB, llegan a los queratinocitos (tipo de célula encontrada en la epidermis), un 10 % penetra la epidermis y alcanza las capas superiores de la dermis y solo un 1 % de la radiación UVB puede penetrar en la dermis. En cambio, la mayoría de los fotones UVA entran a la dermis. En la piel clara, alrededor del 50 % de los fotones penetran en la dermis. La radiación UVA de baja energía casi no es absorbida por el ADN, pero puede ser absorbida por otras células, induciendo cambios oxidantes en las mismas. Estos porcentajes disminuyen para colores más oscuros de piel [17].

### Medición de la radiación UV

Para la medición de la radiación UV existen múltiples dispositivos y sensores; algunos de ellos son capaces de realizar mediciones generales de la energía de la radiación UV como los radiómetros, mientras que otros lo hacen de manera más precisa y específica. Aquellos utilizados concretamente para la medición de la radiación UV proveniente del Sol, son generalmente los espectroradiómetros, que miden el Flujo radiante<sup>1</sup> (potencia óptica) recibido por una superficie por unidad de área (irradiancia) por unidad de frecuencia o intervalo de longitud de onda. Sus unidades en el Sistema Internacional son los  $\frac{W}{m^2 Hz}$  o  $\frac{W}{m^2 nm}$ . En particular, cuando se trata de la radiación UV emitida por el Sol, se suelen utilizar las unidades de medición alternativas de  $MED/h$ , llamada dosis mínima de eritema sobre hora, cuya equivalencia es

$$1MED/h = 0,0583W/m^2$$

---

<sup>1</sup>Energía radiante por unidad de tiempo que es emitida, transmitida, reflejada o recibida por un objeto [19]

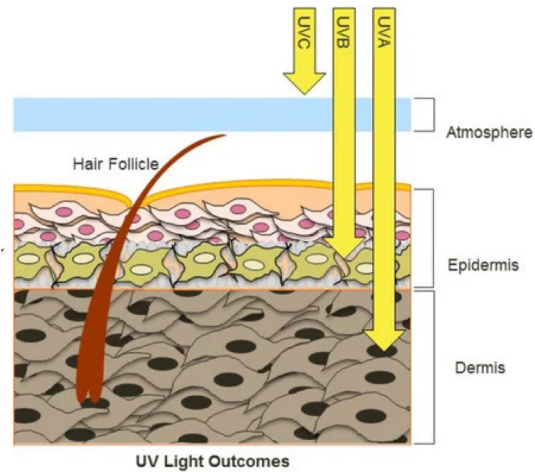


Figura 1.4: Esquema del nivel de penetración de los rayos UVA, UVB y UVC en las capas de la piel.

### Factores influyentes en los niveles de radiación UV

Los niveles de radiación UV son influenciados por 6 factores. Estos son; la elevación del Sol, la latitud, la nubosidad, la altitud, el ozono y el reflejo del suelo. Particularmente, mientras más alto se encuentre el sol en el cielo, mayor será el nivel de radiación UV, lo mismo para zonas de mayor altitud, pues la atmósfera absorbe menor radiación. Para cada 1000 metros de aumento en la altitud, los niveles de radiación UV aumentan en un 10 % a 12 %. A su vez, las regiones más cercanas al ecuador tienen los niveles más altos de radiación UV. Como ya se ha mencionado anteriormente, el ozono absorbe gran parte de la radiación UV antes de que esta alcance la superficie de la tierra. Esto no ocurre con las nubes; si bien los niveles de RUV son más altos cuando el cielo está despejado, estos pueden ser muy altos aun cuando el cielo está cubierto, debido a la dispersión. El reflejo del suelo también juega un papel importante en los niveles de RUV, pues diversas superficies reflejan o dispersan los rayos UV: Específicamente, la nieve refleja hasta un 80 % de la RUV, la arena del mar alrededor de un 15 % y un 25 % para la espuma del mar[20].

### 1.1.3. Efectos de la radiación UV en el cuerpo humano

#### Producción de vitamina D

Para el cuerpo humano, el principal beneficio de la radiación UV, específicamente UVB, es que estimula la producción de vitamina D en la piel, que es esencial para la salud, pues es la que se encarga de que el cuerpo absorba el calcio y el fósforo de los alimentos; minerales que contribuyen a la fuerza de los huesos y a la formación de células. La OMS recomienda una exposición al Sol de pocos minutos: entre 5 y 15, dos o tres veces a la semana para mantener niveles sanos de vitamina D[22]. Esta es una recomendación general que puede variar levemente según la cercanía de la zona al ecuador y el tipo de piel.

#### Tratamiento de enfermedades

Existen múltiples enfermedades de la piel como psoriasis, vitiligo, dermatitis atópica, esclerodermia localizada, entre otras que pueden ser tratadas con radiación solar (helioterapia) o luz UV artificial(fototerapia)[23].

#### Salud cardiovascular

La radiación UV genera óxido nítrico en el cuerpo, lo que ayuda a reducir la presión arterial y mejorar la salud cardiovascular en general[23].

#### Humor y bienestar

La exposición a la radiación UV tiene un efecto en nuestro humor, pues se ha demostrado que tiene la capacidad de provocar reacciones en el cuerpo tales como la liberación de endorfinas[24].

#### Bronceado

El bronceado de la piel es una respuesta física del cuerpo que busca prevenir daños en la piel a partir de la producción de la melanina. Esto resulta en el oscurecimiento característico de un bronceado. Existe una creencia errónea de que el bronceado es saludable, sin embargo, nunca lo es, pues daña las células de la piel de manera acumulativa y aumenta el riesgo de desarrollar algún tipo de cáncer de piel[25].

#### Daño en la piel y envejecimiento prematuro

El 90 % de los cambios físicos graduales atribuidos al envejecimiento, tales como el engrosamiento, la pérdida de elasticidad y arrugamiento de la piel son causados por la exposición crónica al Sol[26] y en particular a los rayos UVA. Estos cambios ocurren a lo largo de años, por lo que suelen pensarse como inevitables y no son asociados a la exposición. Sin embargo, el envejecimiento prematuro es prevenible si se toman las precauciones correctas al exponerse a la radiación UV.

Otras formas de lesiones provocadas por la radiación UV, específicamente la radiación UVB son las quemaduras solares: reacciones inflamatorias que causan enrojecimiento y dolor en la piel.

#### Cáncer de piel

Los cánceres de piel están causados principalmente por la exposición a la radiación UV proveniente tanto del sol, como de fuentes artificiales como las camas de bronceado. Según la Organización



Figura 1.5: Eritema causado en la piel por quemadura solar.

Mundial de la Salud, solo en 2020 se diagnosticaron a nivel mundial más de 1.5 millones de casos de cáncer de piel, habiendo más de 120,000 defunciones por los mismos[27].

El cáncer es una enfermedad en la cual las células del cuerpo se multiplican sin control y se diseminan a otras partes del cuerpo. Existen tres tipos comunes de cáncer de piel; el carcinoma basocelular, el carcinoma espinocelular o escamoso y el melanoma. Los primeros dos tienen altas probabilidades de ser curados, pero son costosos de tratar y pueden causar desfiguración. El tercer tipo de cáncer de piel; el melanoma, es más peligroso que los anteriores y causa la mayoría de las muertes[28].

Los UVA son generalmente considerados menos cancerígenos que los UVB. Debido a las propiedades ópticas de la piel y la profundidad de penetración de la radiación de longitudes de onda largas, estos fotones se relacionan más con el envejecimiento. Sin embargo, se ha encontrado que los UVA también son un factor involucrado en la inducción de lesiones precancerosas y carcinomas en la piel[17].

Casi todos son tratables si son detectados en sus etapas iniciales, por lo que es importante tener en mente de que es lo que se debe estar atento. La Sociedad Americana del Cáncer hace énfasis en la importancia de consultar a un médico si se detecta cualquier protuberancia, nódulo o masa, mancha, úlcera o marca sobre la piel.



Figura 1.6: Tres tipos comunes de cáncer de piel: carcinoma de células basales, carcinoma de células escamosas y melanoma.



Figura 1.7: Recomendaciones de cuidado y observación para la prevención del cáncer de piel.

## Daño en los ojos

Los efectos graves de la radiación UV incluyen fotoqueratitis y fotoconjuntivitis (inflamación en la córnea y la conjuntiva respectivamente). Estos efectos son reversibles y fáciles de prevenir, no se asocian a un daño a largo plazo, pero pueden ser dolorosos y requerir de intervención médica.

Sin embargo, también existen efectos crónicos asociados a la radiación UV como las cataratas, enfermedad en la cual el cristalino se vuelve opaco y disminuye la visión, resultando en la ceguera. También se puede dar un crecimiento de tejido que cubre parte de la cornea llamado pterigión e incluso cáncer dentro y alrededor del ojo (cualquiera de los tres tipos).

La exposición a esta radiación también puede estar involucrada en el desarrollo de degeneración macular asociada a la edad (DMAE).

Según la OMS, se calcula que el 10 % de los casos de las personas que han desarrollado ceguera por cataratas, pueden deberse a la exposición a la radiación UV[27].

## Agravantes

Existen ciertas personas que son más vulnerables que otras ante los peligrosos efectos de la RUV debido a sus características particulares[27]. Por ejemplo, los niños y adolescentes son especialmente delicados debido a su piel y la estructura de sus ojos. La historia médica de una persona también puede ser un factor agravante; Se encuentran en mayor riesgo aquellos en cuya historia familiar haya habido cáncer de piel. Igualmente, algunos medicamentos son capaces de inducir fotosensibilidad. Es importante conocer el tono de piel y su reacción ante la radiación UV, información que se muestra en la siguiente figura:

Asimismo, existe un mayor riesgo asociado a una mayor exposición ocupacional, es decir, para

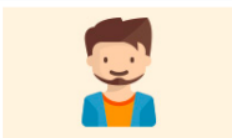

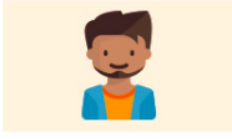
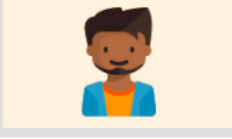
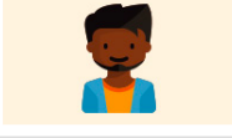

Tonos de piel		
Muy clara		Extrasensible, siempre se quema, no resiste el bronceado.
Clara		Sensible, se quema con facilidad, raramente logra un mínimo bronceado.
Morena clara		Se quema con moderación, el bronceado es gradual.
Morena oscura		Se quema mínimamente, siempre se broncea.
Oscura		Raramente se quema, el bronceado es profundo.
Muy oscura		No se quema.

Figura 1.8: Tonos de la piel humana y sus reacciones a la radiación UV.

aquellas personas que trabajan al aire libre.

#### 1.1.4. El índice UV

El índice ultravioleta solar mundial es una medida de la intensidad de la radiación ultravioleta solar en la superficie de la tierra realizado por la Organización Mundial de la Salud, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la Organización Meteorológica Mundial y la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes.

El objetivo del índice es que la población conozca la capacidad de esta radiación de producir lesiones en la piel con el fin de adoptar medidas de protección. Por ello, el índice UV se reporta por muchos países, incluyendo México. La recomendación de la OMS es tomar medidas para protegerse del sol cuando el índice alcanza un valor de 3 o superior[27].

La OMS indica que el índice UV (IUV) se presenta en una escala de del 1, que es el nivel más bajo, hasta 11 y más, que es un nivel extremo. Entre más alto sea este valor, mayor será la posibilidad de sufrir daño en la piel y los ojos, y menos tiempo tardará en producirse dicho daño.

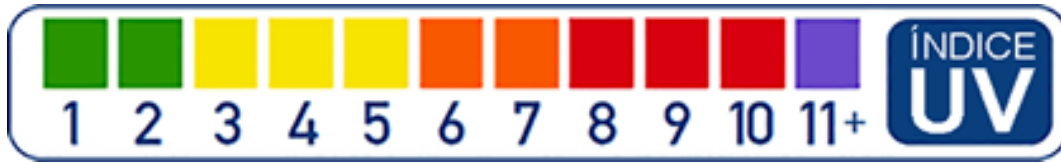


Figura 1.9: Escala de medición del índice UV. Desde el 1 hasta el 11 y más.

### Cálculo del índice UV

El IUV se define como la intensidad de la radiación en la tierra considerando el efecto en la piel humana. Su expresión matemática[20] se presenta como una integral a lo largo del rango de longitud de onda de UVA y UVB (280-400nm):

$$UVI = k_{er} \int_{280}^{400} E_{\lambda} \cdot s_{er}(\lambda) d\lambda \quad (1.1)$$

Donde  $k_{er}$  es una constante igual a  $40(m^2/W)$ ,  $E$  es la irradiancia espectral y  $s_{er}$  es un factor de ponderación para el eritema[21], definido por<sup>2</sup>

$$s_{er}(\lambda) = 1,0 \quad \text{para } 280 < \lambda \leq 298nm$$

$$s_{er}(\lambda) = 10^{0,094(298-\lambda)} \quad \text{para } 298 < \lambda \leq 328nm$$

$$s_{er}(\lambda) = 10^{0,015(139-\lambda)} \quad \text{para } 328 < \lambda \leq 400nm$$

$$s_{er}(\lambda) = 0 \quad \text{para } \lambda > 400nm$$

La ecuación (1.1) es una manera de determinar el IUV, la otra consiste en utilizar un detector de banda ancha calibrado y programado para emitir el IUV de manera directa. Se logra a través de modelos numéricos que relacionan la intensidad de la radiación UV en la superficie terrestre con factores propios de la zona de interés, como por ejemplo la concentración de ozono estratosférico pronosticada, la cantidad de nubes pronosticada y la elevación de la superficie terrestre[20].

La mayoría de los sensores realizan la integral de manera directa al presentar los datos, por lo que solo es necesario multiplicar por  $k_{er}$  para obtener el IUV.

### Interpretación del índice UV

Por lo ya mencionado, es importante conocer el IUV, saber interpretarlo y entender las acciones de protección que deben ser tomadas con base en este. El valor del índice UV se lee como en la siguiente figura:

EXPOSURE CATEGORY	UVI RANGE
LOW	< 2
MODERATE	3 TO 5
HIGH	6 TO 7
VERY HIGH	8 TO 10
EXTREME	11+

Figura 1.10: Categorías de exposición a la radiación UV según el rango de valores.

<sup>2</sup>ISO 17166:1999/CIE S 007/E-1998

Una lectura del IUV de 0 a 2 (bajo) indica un bajo peligro para una persona promedio. De 3 a 5 (moderado) significa un riesgo moderado de daño por exposición sin protección. De 6 a 7 (alto), 8 a 10 (muy alto) y 11 o más (extremo) debe entenderse un riesgo alto, muy alto y extremo de daño sin protección respectivamente.

## 1.2. Planteamiento del problema

La exposición al Sol y en particular a los rayos ultravioleta, no solo es inevitable, si no también recomendada, puesto que produce una variedad de efectos positivos en el cuerpo humano. Sin embargo, la sobreexposición puede causar daños importantes, en particular, la radiación UVB; desde quemaduras solares, hasta la posibilidad de desarrollar algún tipo de cáncer de piel. Para prevenir estos resultados y tener una interacción sana con el Sol, es de gran importancia conocer la información existente alrededor del tema y hacer uso de las herramientas disponibles. Una de ellas es el índice UV, que mide la intensidad de la radiación UV. Conocer el índice UV diario en la zona propia es útil en la prevención, nos permite saber a que atenernos y como cuidarnos de la mejor manera. La intensidad de los rayos UV y por tanto el índice UV varía y depende de diversos factores, por lo que nuestro nivel de cuidado tampoco deberá ser el mismo.

En la Ciudad de México, más allá del IUV diario emitido, no sé tiene gran información de este parámetro, particularmente de su evolución. Si bien se publica una representación visual del índice UV cada cierto tiempo de manera diaria, los datos almacenado para la posteridad son datos crudos, así como fueron obtenidos por las estaciones meteorológicas.

Esto dificulta la posibilidad de llevar un registro y por lo tanto no se tiene certeza de las horas, meses y temporadas en las que la exposición al sol es más peligrosa en el estado, esto es cuando el IUVB supera el número 7. Sobre todo, se desconoce si ha habido un cambio, ya sea positivo o negativo, con el paso de los años en la Ciudad.

Esto puede dar pie a ideas equivocadas o incompletas para la población, por ejemplo, que la exposición al sol es completamente segura en algunas temporadas, lo cual a su vez tiene un impacto directo en su salud. Es en este último punto donde radica la importancia de esta tesis.

## 1.3. Estado del arte

Debido a la importancia depositada en los rayos ultravioleta provenientes de Sol y los efectos que producen estos en la piel humana, ha tomado gran relevancia el monitoreo y análisis de los mismos. Con este fin, se han realizado diversos estudios sobre la dinámica del índice y los rayos UV a lo largo de los años en distintas regiones del mundo. Los resultados encontrados en los artículos relacionados con esta investigación son similares. En general, no se han encontrado tendencias significativas de aumento o disminución de los parámetros mencionados, es decir, que los niveles de radiación UV se han mantenido prácticamente constantes, según datos de múltiples sitios. Esto ha sido así durante un periodo de 20 años para todas las estaciones según un estudio de 2019[1]. Particularmente, en altitudes bajas y medias (0-60°) durante 25 años, los cambios han sido de menos de un 4% por década, aumentando en algunos lugares y disminuyendo en otros[2]. Estas variaciones menores son mayormente atribuidas a los cambios en la nubosidad y la concentraciones de aerosoles atmosféricos. Este hecho es considerado como una noticia positiva, pues un resultado que indica que la ausencia de un deterioro más avanzado en años recientes, tendencia que si había sido observada en décadas anteriores, particularmente en los años 80.

En la mayoría de los artículos referidos en esta parte, el resultado mencionado anteriormente es atribuido a las acciones tomadas por los humanos, surgidas de una preocupación concerniente al

empeoramiento de la capa de ozono. Se señala con gran énfasis, la importancia y efecto positivo que ha tenido el Protocolo de Montreal sobre sustancias que merman la capa de ozono. Este protocolo se estableció con la finalidad de recuperar la capa de ozono, que según observaciones había comenzado a agotarse debido a distintos químicos de uso humano[4]. Su importancia radica de manera directa en el hecho de que los valores del índice UV y la intensidad de la radiación UV no hayan aumentado a lo largo de los años según los resultados obtenidos[3] [2]. Las predicciones que se han realizado del daño provocado sin la implementación del tratado son alarmantes, pues se preveía un aumento en la intensidad de los rayos UV del 10 al 20 % en latitudes menores a 50°, 25 y más del 100 % (Polo sur en primavera) en latitudes mayores a 50°[2].

Las nuevas predicciones realizadas, a partir de los hechos actuales, se han formado a partir de simulaciones con base en una amplia diversidad de métodos numéricos. Los resultados de dichas simulaciones muestran un desenlace positivo con respecto a la recuperación de la capa de ozono[5]. Se prevé una reducción importante del 40 % en el índice UV en la antártica y menos del 10 % en regiones fuera del Polo Sur. Sin embargo, la reducción de aerosoles proveniente de una mejora en la calidad del aire puede resultar en un incremento del 10 al 20 % en regiones muy pobladas del hemisferio norte. En el hemisferio sur, el efecto del aerosol será muy pequeño [6].

Si bien la recuperación de la capa de ozono es tangible, los estudios resaltan la importancia de seguir monitoreando el índice UV y diseminar información apropiada para reducir los daños a la salud causados por la radiación UV[7]. Si bien los resultados actuales y proyectados tienen un carácter positivo, es de gran relevancia no actuar de manera despreocupada ante las mediciones ultravioleta, puesto que se detectan niveles muy altos en zonas de baja latitud y gran altitud, por ejemplo en San Pedro, Chile y La Paz, Bolivia. Además, en la mayoría de las regiones en latitudes medias, también se encuentran niveles altos del índice UV durante los meses de verano[8].

Los artículos consultados muestran una vista general del estado de la tierra con respecto a la radiación UV y su observación. Sin embargo, no se encontró estudio alguno del tema específicamente en México o alguno de sus estados.

## 1.4. Índice UVB en la Ciudad de México

La CDMX se encuentra en una latitud que le permite recibir radiación solar todo el año. Por lo mismo, está expuesta a un 20 % más de radiación UV con respecto al nivel del mar[29]. El gobierno de México considera de gran importancia conocer la intensidad de la radiación solar, el tipo de piel y los daños que provoca para tener una exposición saludable. La CDMX cuenta con un programa continuo de monitoreo de los niveles de radiación solar ultravioleta a través del Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT), que difunden cada hora en forma de índice de radiación solar (IUV) en concordancia con las recomendaciones establecidas por la OMS. Este indicador se utiliza como parte de un programa que busca informar y concientizar a la población sobre la radiación UV, los riesgos a la salud y la importancia de la protección solar. Se recomienda consultar el índice UV diario antes de realizar actividades al aire libre. El SIMAT publica el índice de radiación UV continuamente, reportando el valor máximo cada 10 minutos.

En algunas ciudades incluyendo la Ciudad de México, se utiliza también el valor de 0 para referirse a la ausencia de radiación. Además, en la ciudad, el índice puede alcanzar hasta un valor máximo de 15, sin embargo, en apego a las recomendaciones de la OMS se reporta como 11+.

La siguiente imagen se encuentra en la página del gobierno de la Ciudad de México.



Figura 1.11: Escala del índice UV y sistema de protección recomendado por la OMS.

### 1.4.1. Recomendaciones de protección ante los rayos UV

Por recomendación de la OMS, el índice UV es emitido por el gobierno todos los días. Esta es una herramienta fácil de consultar, que es importante tener en cuenta en la planificación de actividades al aire libre durante el día, con la finalidad de prevenir los efectos peligrosos asociados a la radiación UV y disfrutar del sol sin riesgos. Se presenta un índice previsto para el día, acompañado de las recomendaciones correspondientes. A su vez, es importante conocer el tipo de piel que se tiene, pues de esto depende la velocidad a la que se producen los efectos de la radiación ultravioleta. El gobierno de la Ciudad de México provee también una tabla informativa sobre el tiempo máximo de exposición en minutos sin protección, según el tipo de piel.

Si la radiación ultravioleta es...	y el IUUV es...	según tu tono de piel, el tiempo máximo de exposición en minutos, sin protección es:					
		muy clara	clara	morena clara	morena oscura	oscura	muy oscura
BAJA	1	112	140	175	219	274	342
	2	56	70	88	109	137	171
MODERADA	3	37	47	58	73	91	144
	4	28	35	44	55	68	86
	5	22	28	35	44	55	68
ALTA	6	19	23	29	37	47	57
	7	16	20	25	31	39	49
MUY ALTA	8	14	18	22	27	34	42
	9	12	16	19	24	30	38
	10	11	14	18	22	27	34
EXTREMADAMENTE ALTA	11	10	13	16	20	25	31
	12	9	12	15	18	23	29
	13	9	11	14	17	21	26
	14	8	10	13	16	20	24
	15	8	9	12	15	18	23

Figura 1.12: Tiempo de exposición a los rayos UV máximo saludable en minutos según el tipo de piel.

Existen varios mecanismos y barreras que protegen al cuerpo de los efectos de la radiación ultravioleta como lo son el estrato córneo, la melanina, el ADN, la queratina, entre otros[17]. Sin embargo, esto no es suficiente para garantizar la salud completamente si la exposición a los rayos UV es más de la saludable. Por ello es necesario tomar medidas precautorias.

## **Reducción del tiempo de exposición**

La manera más sencilla de protegerse ante los efectos de la radiación ultravioleta proveniente del sol es evitar estar en contacto con la misma. Para ello es importante considerar la reducción del tiempo que pasamos bajo el sol, así como de la cantidad de actividades que realizamos al aire libre. Si es necesario salir, lo mejor es permanecer en la sombra. Una forma sencilla de saber que tan fuertes son los rayos del sol es realizar la prueba de la sombra[30]; Debido a que la intensidad de los rayos UV está relacionada directamente con el ángulo del Sol o su altitud sobre el horizonte, la regla de la sombra determina la altitud del Sol observando la sombra proyectada (en una superficie horizontal) por una persona durante el día. En latitudes medias, la intensidad de los rayos es aproximadamente inversamente proporcional a la longitud de la sombra proyectada por la persona, por lo tanto, cuando la sombra es más corta que la altura de la persona, la intensidad de los rayos UV puede ser peligrosa.

Es importante tener en cuenta que algunos rayos UV pueden atravesar las ventanas. Las ventanas típicas pueden bloquear la mayor parte de los rayos UVB pero una porción muy pequeña de los UVA.

## **Vestimenta**

### **Ropa adecuada**

La ropa provee diferentes niveles de protección ante los rayos UV. Con este fin se recomienda utilizar camisas o playeras de manga larga, pantalones y en general, ropa que cubra la mayor parte de la piel. No toda la ropa ofrece el mismo grado de protección, por ejemplo: los colores oscuros ofrecen más protección que los claros, al igual que la ropa seca provee una mayor defensa que la ropa mojada.

### **Lentes oscuros**

Para ayudar a cuidar los ojos de los rayos ultravioleta se recomienda el uso de lentes oscuros. Sin embargo, no todos ofrecen protección ante los rayos UV y lentes más oscuros nos significa una mejor protección. Se debe buscar aquellos que cuenten con una etiqueta que indique el nivel de protección ante los rayos, siendo preferente el filtro UV400.

### **Gorras y sombreros**

Utilizar gorras o preferentemente sombreros de ala ancha ayuda a obtener un grado de protección más para el rostro y los ojos, pues les proporciona sombra.

### **Bloqueador solar**

Al utilizar este producto, es importante saber que se trata solamente de un filtro y no bloquea todos los rayos UV. El bloqueador solar no debe utilizarse para prolongar el tiempo que se pasa bajo el sol, utilizar ropa protectora y permanecer en la sombra deben ser las primeras opciones. El SPF incluido en la etiqueta de este producto se refiere al nivel de protección que ofrece en contra de los rayos UVB. Se recomienda bloqueadores solares con factor SPF mayor a 30, pues es capaz de filtrar alrededor de un 97%[31] de los rayos UVB. Si se aplica correctamente, se obtiene un equivalente de 1 minuto de exposición sin protección por cada 30 minutos bajo el sol. Un número más alto significa mayor protección UVB, sin embargo, ninguno protege completamente. Entre los bloqueadores solares que existen es preferible optar por aquellos que en la etiqueta indiquen

“amplio espectro”, pues esto significa que no solamente filtran los rayos UVB, si no también los UVA.

## 1.5. Hipótesis

Con los datos medidos de índice UVB en la Ciudad de México será posible realizar un análisis estadístico que permita conocer las variaciones entre los años 2000 y 2022.

## 1.6. Objetivo general

Analizar el índice UVB en la Ciudad de México para los años 2000-2022.

## 1.7. Objetivos específicos

- Realizar el análisis en particular para valores de IUVB mayores a 7.
- Registrar datos de máximos, promedios, valor de la integral y valor más probable por mes a través de los años.
- Advertir el horario de mayor riesgo para la exposición al Sol en la Ciudad de México.
- Determinar si existe un cambio en el índice UV para rayos UVB a lo largo de los años mencionados.
- Observar la correlación y distribución entre el valor del IUVB cuando asciende a 7 o más, con los meses y los años.

# Capítulo 2

## Metodología

### 2.0.1. Adquisición y preprocesamiento de datos

En este trabajo, se utilizaron datos reportados por la Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA) en la página del gobierno de la Ciudad de México[32] correspondientes a los rayos ultravioleta, que son medidos en estaciones meteorológicas dispersas a lo largo de la entidad (actualmente esta página se encuentra fuera de servicio). Las estaciones son las siguientes:

- Montecillo (MON).
- San Agustín (SAG).
- Pedregal (PED).
- Tlalnepantla (TLA).
- Merced (MER).
- FES Actalán (FAC).
- Cuajimalpa (CUA).
- Santa Fe (SFE).
- Laboratorio de Análisis Ambiental (LAA).
- Milpa Alta (MPA)
- Chalco (CHO).
- Cuautitlán (CUT).

Por razones no especificadas en la página, los conjuntos de datos están incompletos; a lo largo de los años, existen periodos de tiempo en los cuales no fue posible registrar dato alguno. Para utilizar una mayor cantidad de datos recabados, se redujo la cantidad de estaciones a cinco, las cuales presentaron los conjuntos de datos más completos y son enunciadas a continuación:

- Montecillo (MON).
- San Agustín (SAG).
- Pedregal (PED).

- Tlalnepantla (TLA).
- Merced (MER).

Los años de recolección para dichos datos van desde el 2000 hasta el 2022. El año de 2019 fue eliminado por completo antes de realizar el análisis, pues ese año no se registraron datos en ninguna de las estaciones. La razón se desconoce. Además del año mencionado, no hubo una reducción de datos previa al análisis.

Además de proporcionar las bases de datos adquiridos por las estaciones previamente mencionadas, la página incluye un manual para la obtención y descarga de estos datos en formato *.xml* y su conversión en índice UV. Estas se presentan por año en formas de columnas, correspondientes a la fecha de monitoreo (día/mes/año), hora de monitoreo (1-24) y valor del parámetro por estación. Los datos nulos se identifican con la etiqueta -99 y fueron reetiquetados con un cero. Posteriormente se ordenaron por año de manera ascendente, comenzando por el año 2000.

Actualmente, la página de la cual se obtuvieron los datos se encuentra fuera de servicio, por lo que para acceder a estos datos e información, sería necesario ingresar a la nueva página[33].

En este punto, los datos se encuentran organizados y preparados para su transformación.

## 2.0.2. Procedimiento

Una vez descargadas las bases de datos, se utilizó ROOT para transformarlas y posteriormente realizar su análisis.

Primero, se hizo la conversión de estos datos, que en el caso de los correspondientes a la radiación UVB se presentan con las unidades alternativas de  $MED/h$ . Para su transformación en datos de IUUV, se realiza una multiplicación por el factor de conversión  $k$ . En este caso, su valor dado por  $40(m^2/W)$  se transforma a unidades de  $h/MED$  como

$$k = 40(0,0583) = 2,332h/MED$$

de modo que

$$IUUV = UVB(2,332h/MED)$$

A partir de estas nuevas bases de datos, ahora con información correspondiente al IUUV, se generó una serie de histogramas de hora (eje  $x$ ) vs el índice de radiación (eje  $y$ ) para rayos UVB de cada año observado y en cada estación. En estas gráficas, el valor del índice de radiación de nuestro

interés aquel mayor o igual a 7, por lo que se observó en cada histograma, las horas de inicio y fin en las cuáles el índice de radiación superó este valor. A partir de estos valores para las horas, se realizó una gráfica para cada estación, donde el eje  $x$  representa los años y el  $y$  las horas.

Después se llevó a cabo un proceso análogo, en el cual se generó otro conjunto de histogramas por el mismo método de hora vs índice de radiación, pero esta vez por mes.

Otro tipo de histogramas fueron posteriormente generados, en los cuales se muestra la distribución del índice de radiación por el número de entradas. En este caso, el eje  $x$  representa los valores del índice de radiación y el eje  $y$  el número de entradas, también divididos de manera mensual.

Por último, para el análisis de los datos, se realizaron cuatro gráficas por estación para radiación UVB con los años presentados de manera simultánea. Los valores calculados para estas fueron; el valor de la integral, el valor más probable, el promedio y el máximo índice UV.

# Capítulo 3

## Resultados y discusión

Los siguientes histogramas resultaron del análisis de los datos anuales proporcionados por la estación localizada en la Merced. Se presentan los resultados de los años 2000, 2010 y 2022.

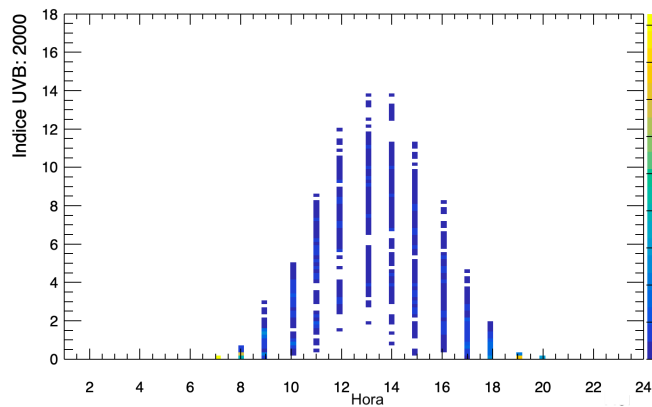


Figura 3.1: MER. Histogramas de hora vs índice UVB del año 2000

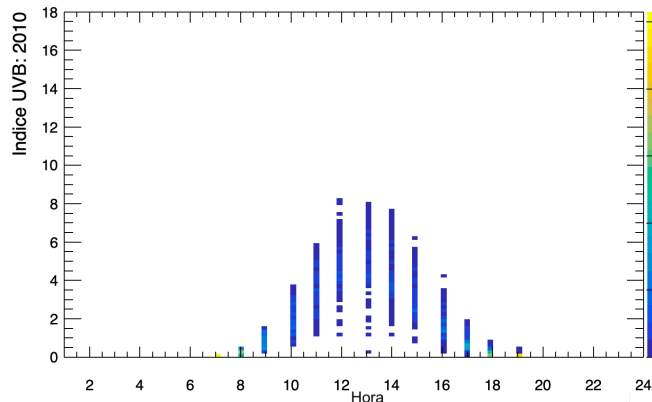


Figura 3.2: MER. Histogramas de hora vs índice UVB del año 2010

A partir del análisis de estas gráficas, se determinó la hora de inicio y de término del periodo de interés en el cual el índice de radiación supera un valor de IUUV de 7. Los resultados se encuentran condensados en la siguiente tabla:

Se siguió el mismo procedimiento para el resto de las estaciones y se realizaron tablas similares, no solamente para los años mostrados en esta sección. A partir de los resultados obtenidos se

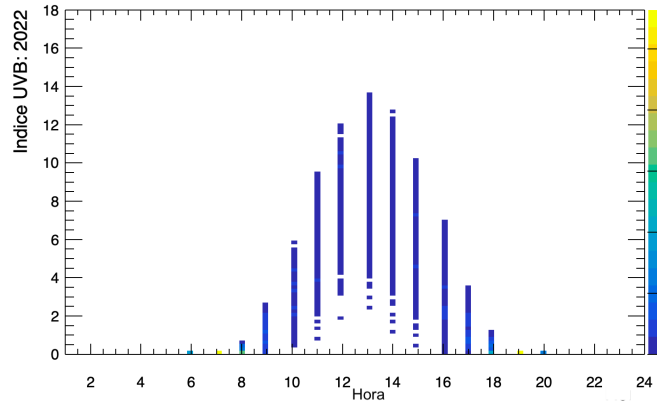


Figura 3.3: MER. Histogramas de hora vs índice UVB del año 2022

Año	Tipo	Hora de inicio	Hora de fin	Duración (horas)
2000	UVB	11:00	16:00	5
2010	UVB	12:00	14:00	2
2022	UVB	11:00	16:00	5

Tabla 3.1: La Merced. Horas de inicio, fin y duración del periodo en el que índice UV supera un valor de 7.

realizaron las siguientes gráficas, donde el triángulo rojo representa las horas de inicio (abajo) y fin (arriba) para los rayos UVB entre las cuales se encuentra el periodo en el que el IUV supera el 7.

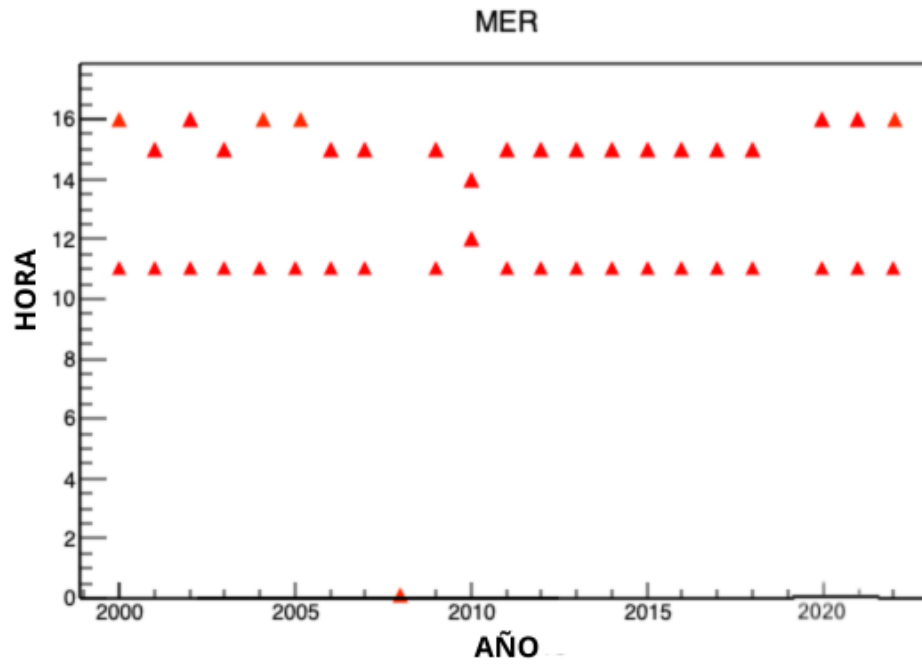


Figura 3.4: Representación de horas de inicio y fin en las que el IUV supera un valor de 7. Estación de La Merced.

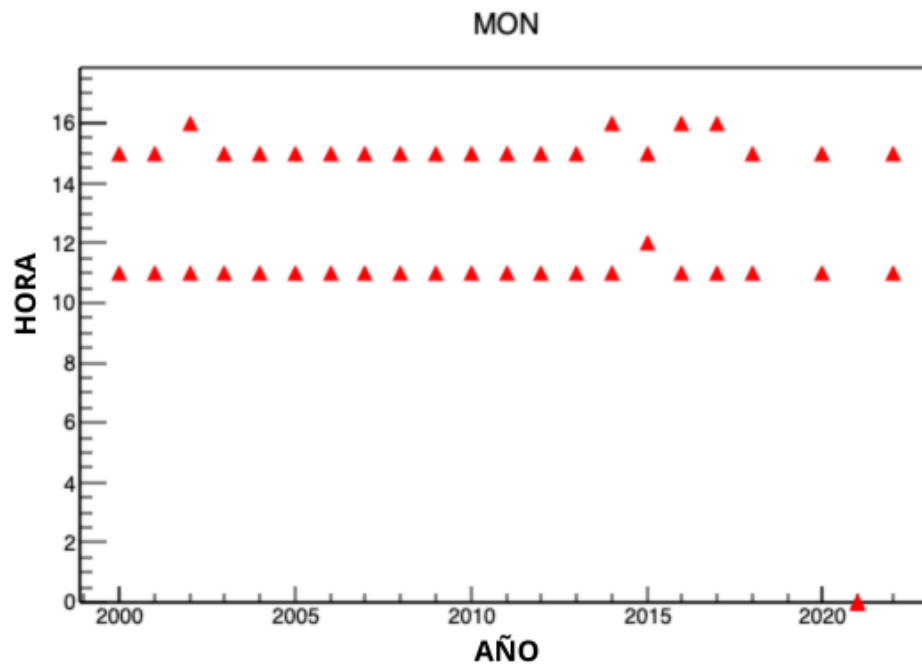


Figura 3.5: Representación gráfica de las horas de inicio y fin en las que el IUV supera un valor de 7. Estación de Montecillo.

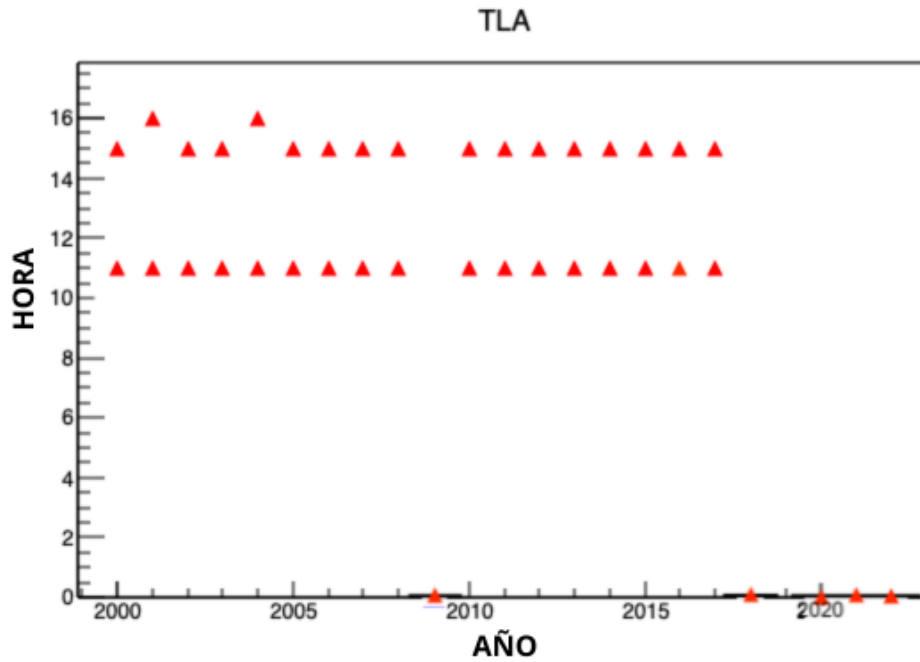


Figura 3.6: Representación gráfica de las horas de inicio y fin en las que el IUV supera un valor de 7. Estación de Tlanepantla.

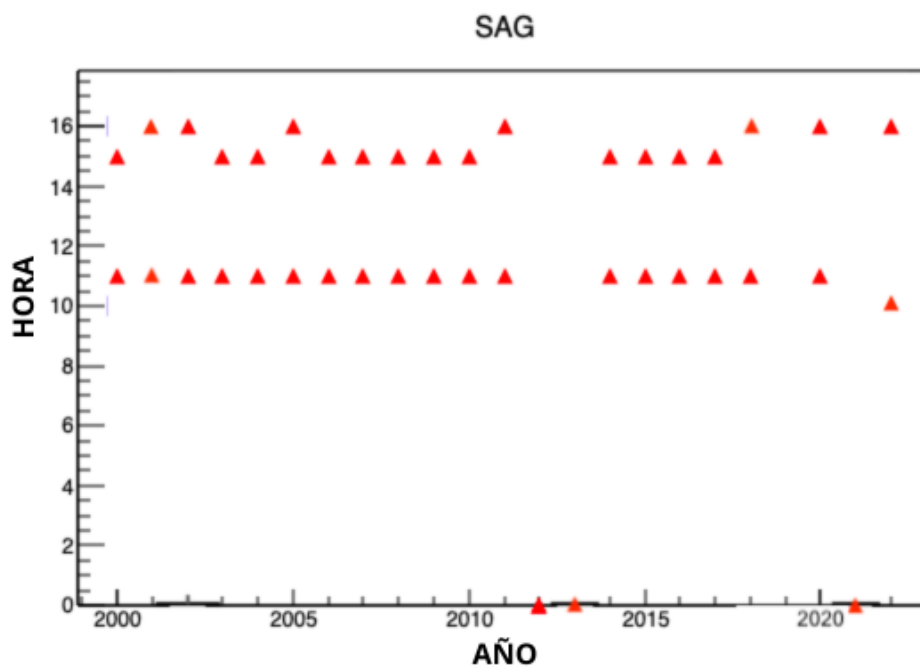


Figura 3.7: Representación gráfica de las horas de inicio y fin en las que el IUV supera un valor de 7. Estación de San Agustín.

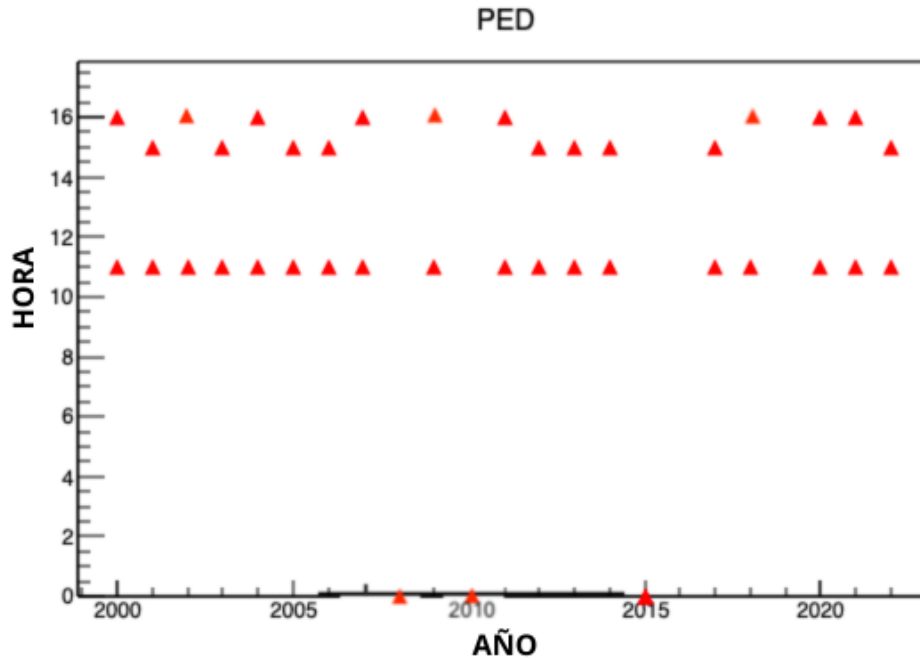


Figura 3.8: Representación gráfica de las horas de inicio y fin en las que el IUV supera un valor de 7. Estación del Pedregal.

A través de los años se muestran pequeñas variaciones en las horas de inicio y fin, sin embargo estas no siguen un patrón claro.

A partir de los datos presentados de manera mensual se obtuvieron histogramas por mes, año y estación, de hora vs IUVB. A continuación se muestran aquellos correspondientes a los años 2000, 2011 y 2022 de la estación ubicada en el Pedregal (PED).

Los resultados se anotaron en la siguiente tabla:

Año	Mes	Tipo	Hora de inicio	Hora de fin	Duración (horas)
2002	Enero	UVB	13:00	15:00	2
	Febrero	UVB	12:00	15:00	3
	Marzo	UVB	11:00	16:00	5
	Abril	UVB	11:00	15:00	4
	Mayo	UVB	11:00	15:00	4
	Junio	UVB	11:00	15:00	4
	Julio	UVB	12:00	14:00	2
	Agosto	UVB	12:00	15:00	3
	Septiembre	UVB	11:00	15:00	4
	Octubre	UVB	11:00	14:00	3
	Noviembre	UVB	12:00	13:00	1
	Diciembre	UVB	13:00	13:00	0

Tabla 3.2: Año 2002, estación PED. Horas de inicio, fin y duración del periodo en el que índice UV supera el 7.

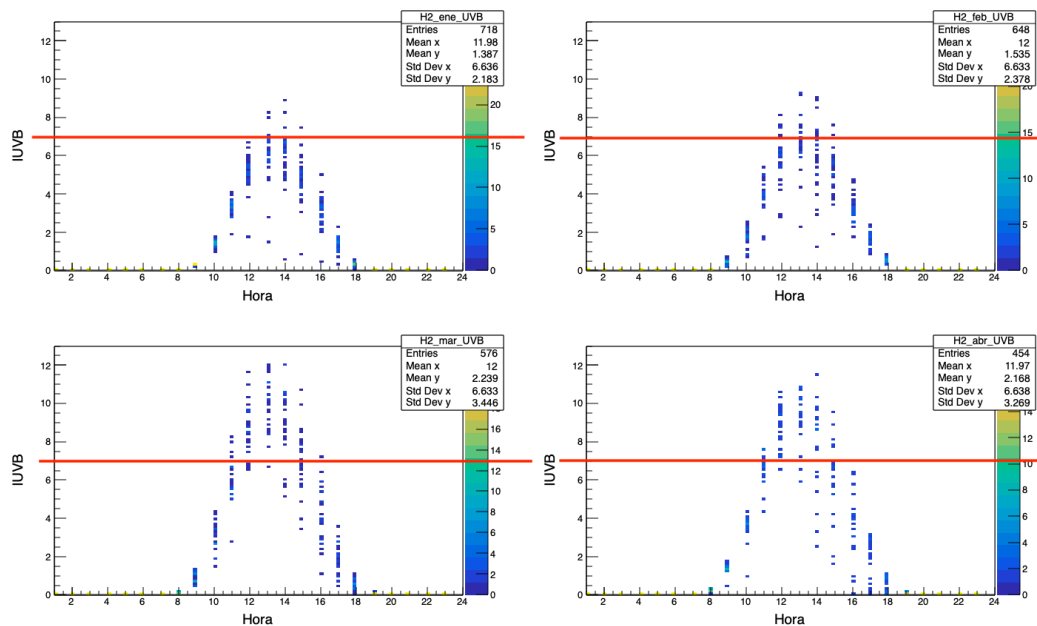


Figura 3.9: histogramas mensuales de la estación PED para el año 2002 desde enero hasta abril. Se muestra la hora contra el índice UVB

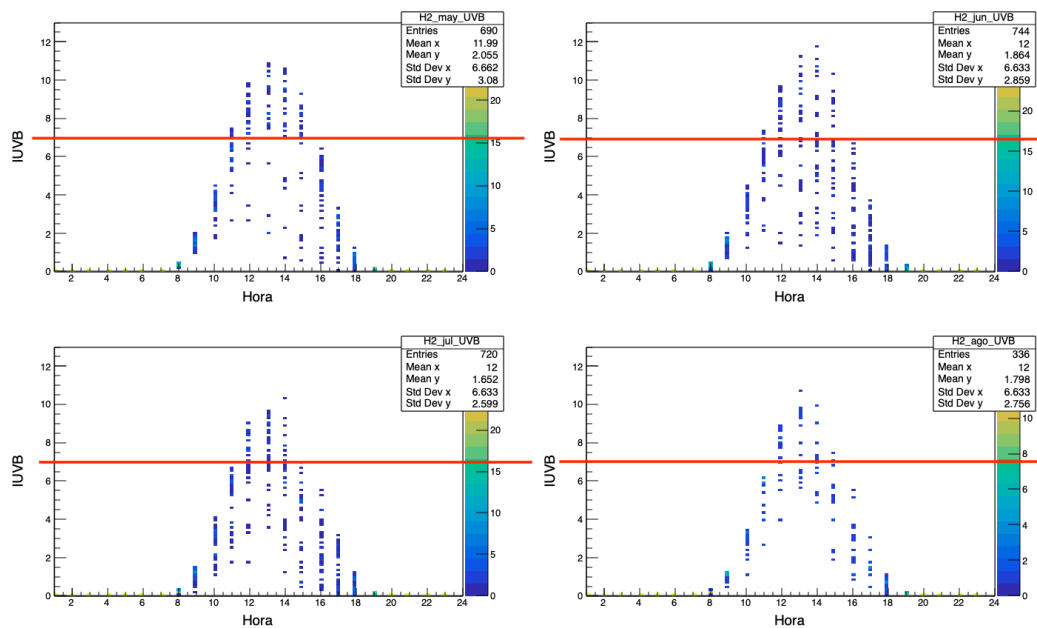


Figura 3.10: histogramas mensuales de la estación PED para el año 2002 desde mayo hasta agosto. Se muestra la hora contra el índice UVB

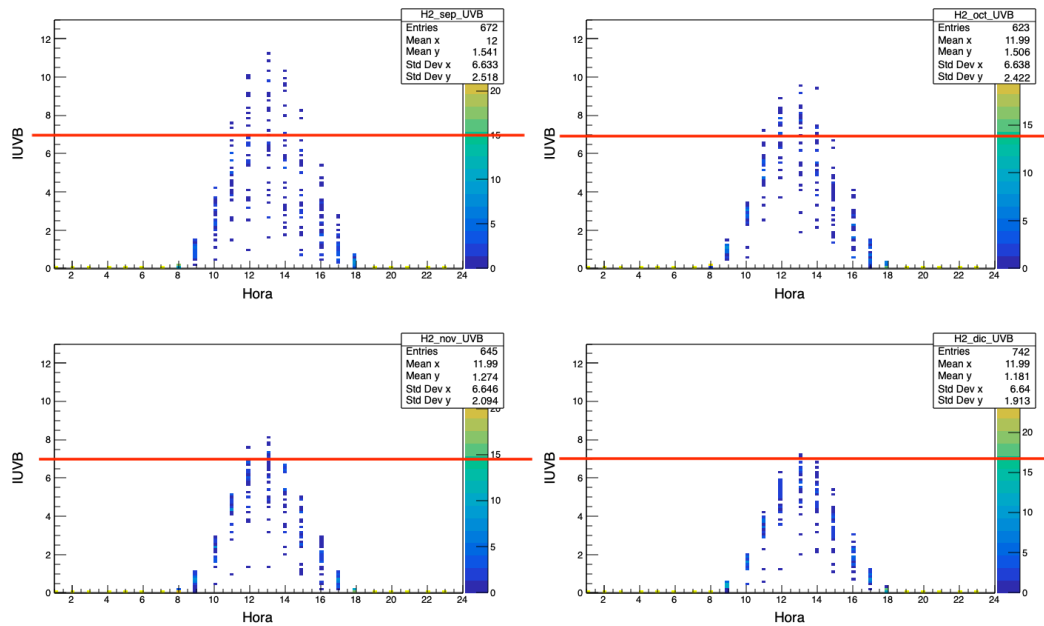


Figura 3.11: histogramas mensuales de la estación PED para el año 2002 desde septiembre hasta diciembre. Se muestra la hora contra el índice UVB

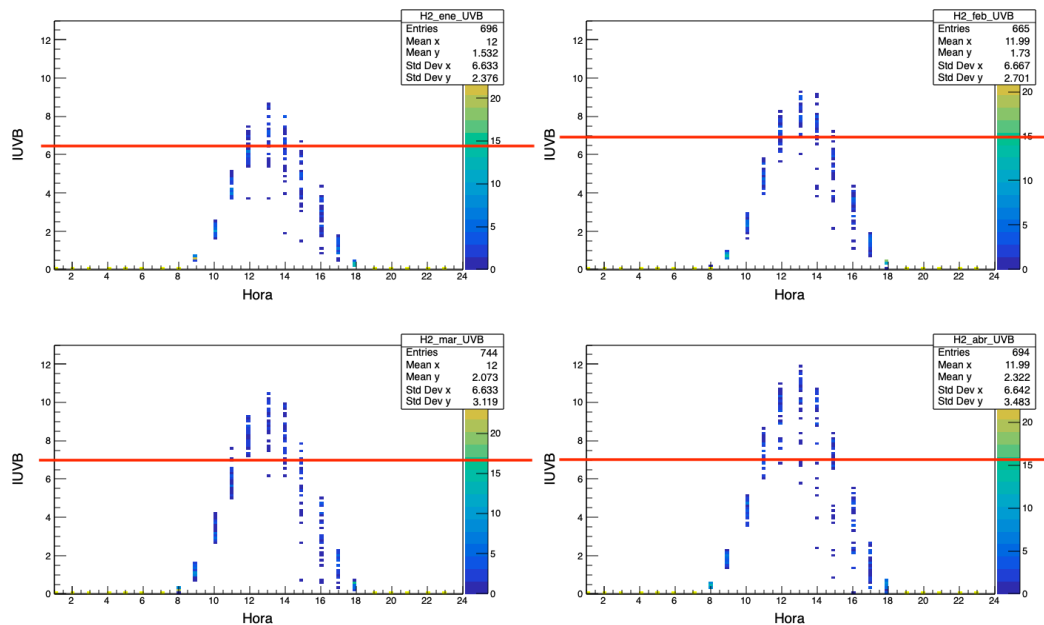


Figura 3.12: histogramas mensuales de la estación PED para el año 2011 desde enero hasta abril. Se muestra la hora contra el índice UVB

En general, se observa que la duración del periodo varía a lo largo de los meses, teniendo la mayor duración en los meses correspondientes al verano y la menor en los meses que corresponden al invierno. Este comportamiento se observa en todas las estaciones.

Los siguientes histogramas representan la distribución del índice ultravioleta a partir del número de entradas a lo largo de los años 2002, 2011 y 2022 de la misma estación.

Año	Mes	Tipo	Hora de inicio	Hora de fin	Duración (horas)
2011	Enero	UVB	12:00	14:00	2
	Febrero	UVB	12:00	15:00	3
	Marzo	UVB	11:00	15:00	4
	Abril	UVB	11:00	15:00	4
	Mayo	UVB	11:00	15:00	4
	junio	UVB	11:00	16:00	5
	Julio	UVB	11:00	15:00	4
	Agosto	UVB	11:00	16:00	5
	Septiembre	UVB	11:00	15:00	4
	Octubre	UVB	11:00	14:00	3
	Noviembre	UVB	12:00	13:00	1
	Diciembre	UVB	-	-	-

Tabla 3.3: 2011 PED. Horas de inicio, fin y duración del periodo en el que índice UV supera el 7.

Año	Mes	Tipo	Hora de inicio	Hora de fin	Duración (horas)
2022	Enero	UVB	12:00	14:00	2
	Febrero	UVB	11:00	15:00	4
	Marzo	UVB	11:00	15:00	4
	Abril	UVB	11:00	15:00	4
	Mayo	UVB	11:00	15:00	4
	junio	UVB	11:00	15:00	4
	Julio	UVB	11:00	15:00	4
	Agosto	UVB	11:00	15:00	4
	Septiembre	UVB	11:00	15:00	4
	Octubre	UVB	11:00	14:00	3
	Noviembre	UVB	12:00	14:00	2
	Diciembre	UVB	12:00	14:00	2

Tabla 3.4: 2022 PED. Horas de inicio, fin y duración del periodo en el que índice UV supera el 7.

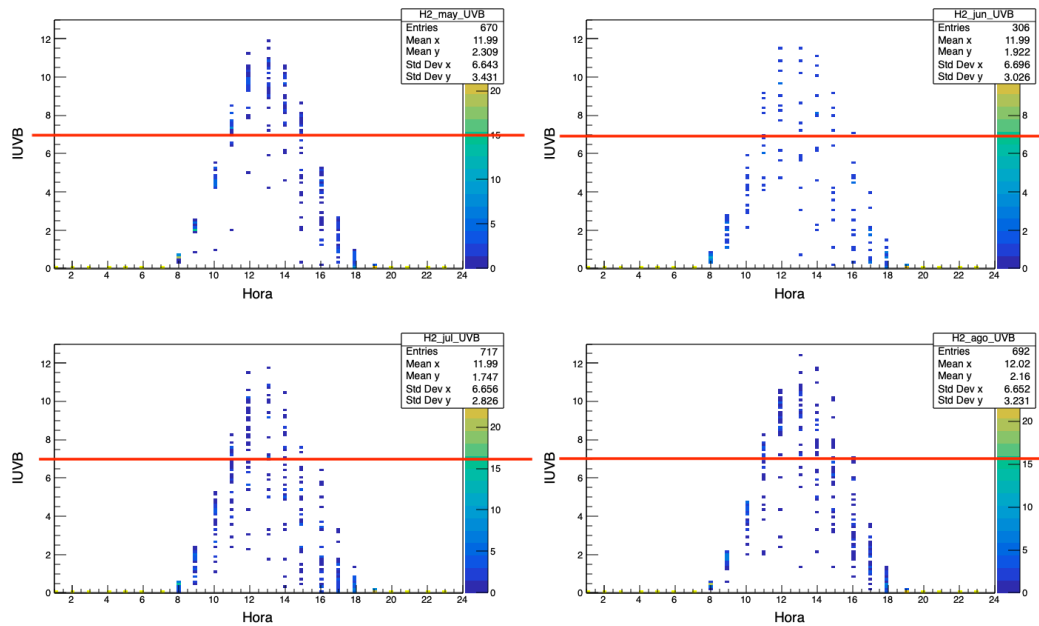


Figura 3.13: histogramas mensuales de la estación PED para el año 2011 desde mayo hasta agosto. Se muestra la hora contra el índice UVB

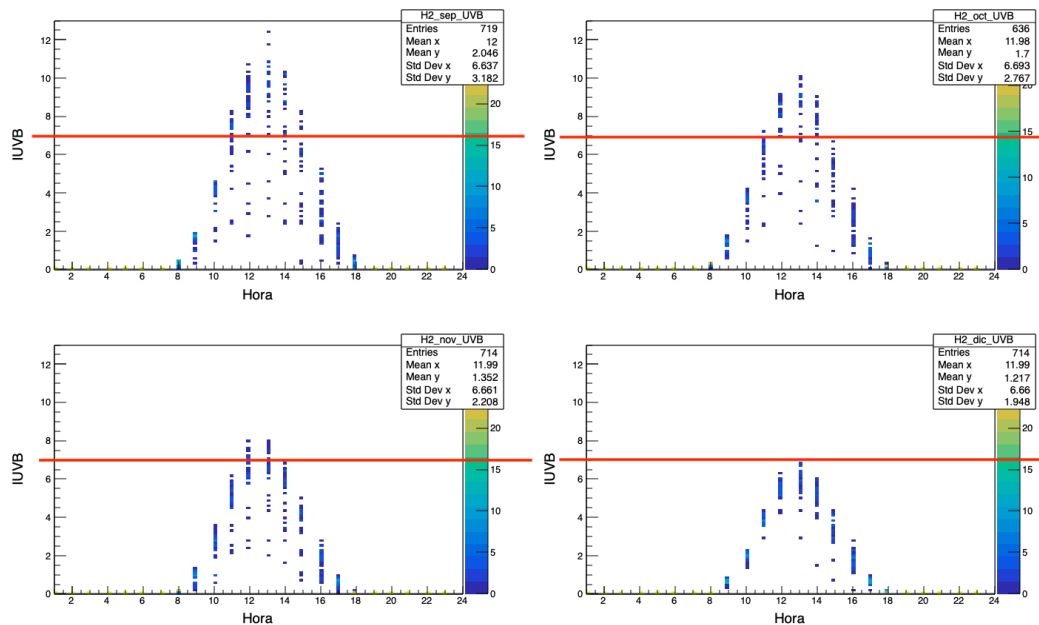


Figura 3.14: histogramas mensuales de la estación PED para el año 2011 desde septiembre hasta diciembre. Se muestra la hora contra el índice UVB

La información contenida en estos histogramas muestra como ha sido la distribución de las entradas para el índice UVB. Se observa que los valores con más entradas son los más bajos. Además, existen entradas para un valor mayor a 7 aun en los meses de diciembre, enero y febrero, aunque son menores.

A partir de los datos mensuales también se realizó un análisis, para el cual se presentan las siguientes gráficas para la estación de la Merced.

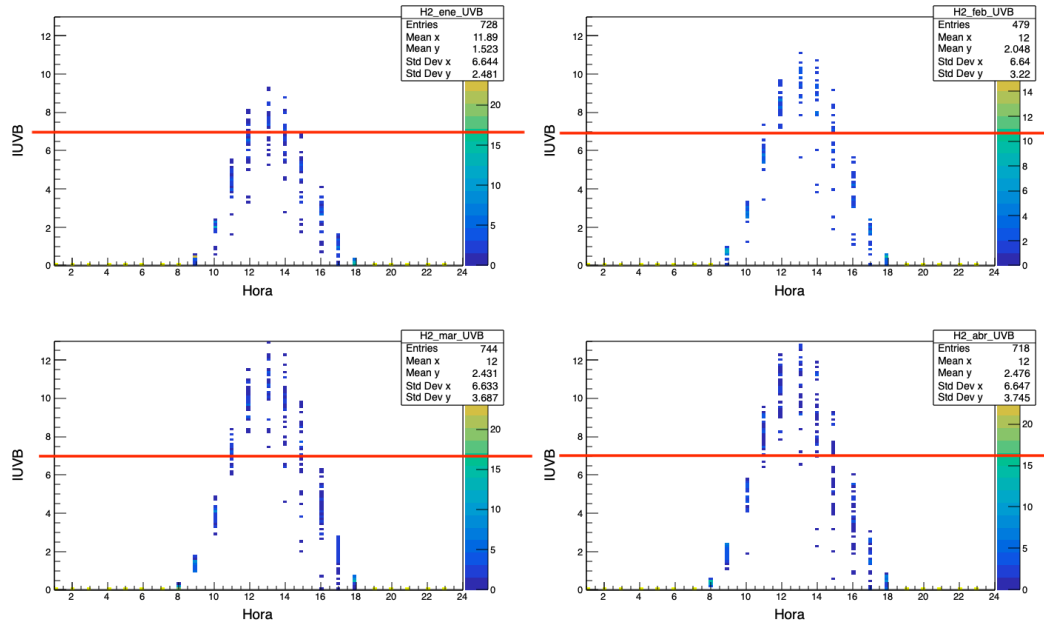


Figura 3.15: histogramas mensuales de la estación PED para el año 2022 desde enero hasta abril. Se muestra la hora contra el índice UVB

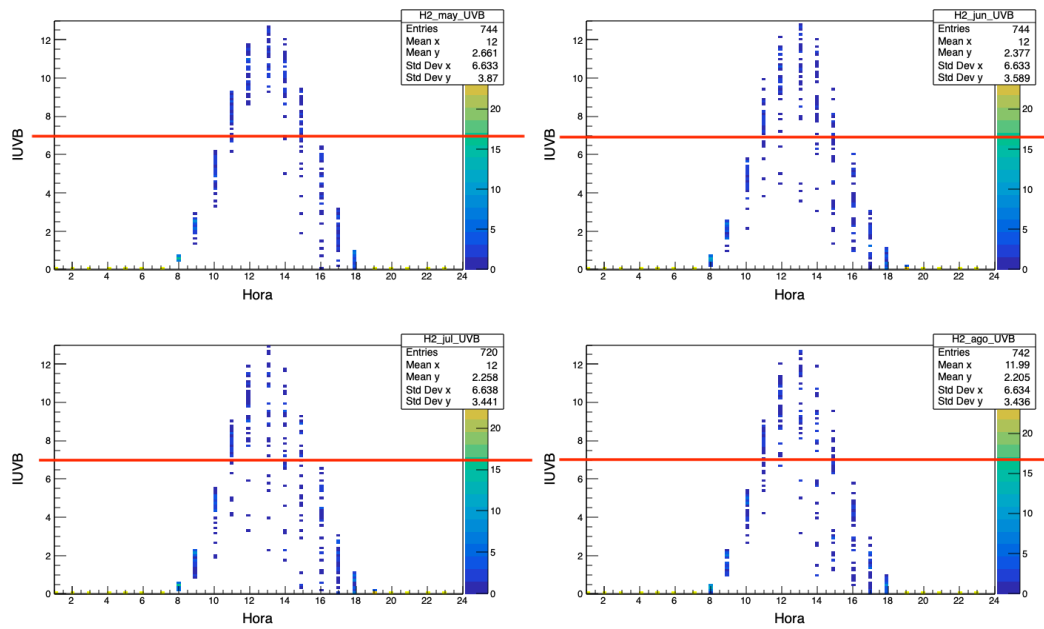


Figura 3.16: histogramas mensuales de la estación PED para el año 2022 desde mayo hasta agosto. Se muestra la hora contra el índice UVB

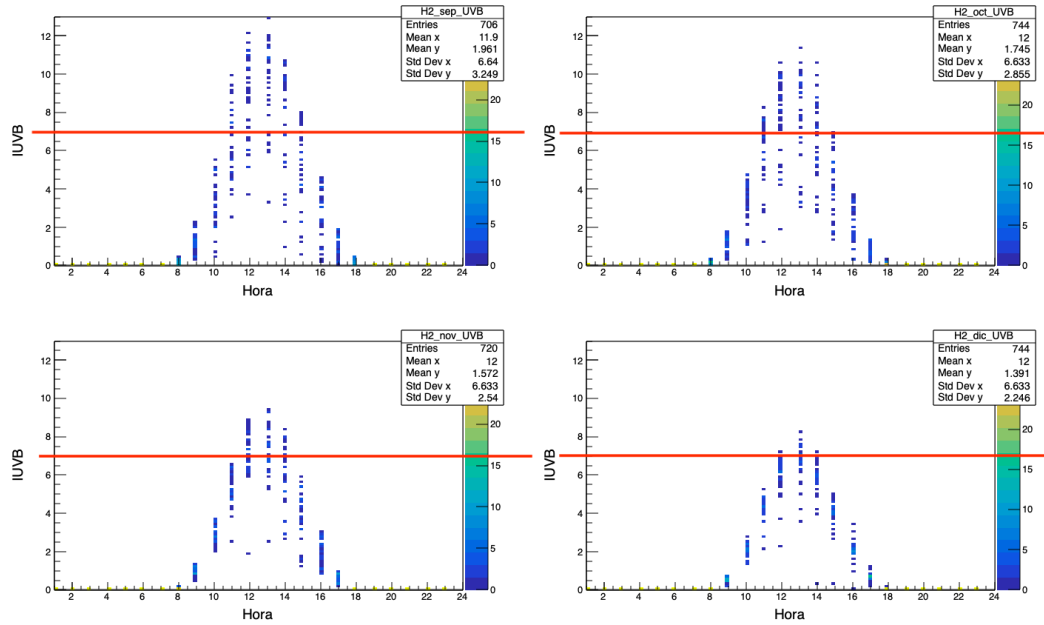


Figura 3.17: histogramas mensuales de la estación PED para el año 2022 desde septiembre hasta diciembre. Se muestra la hora contra el índice UVB

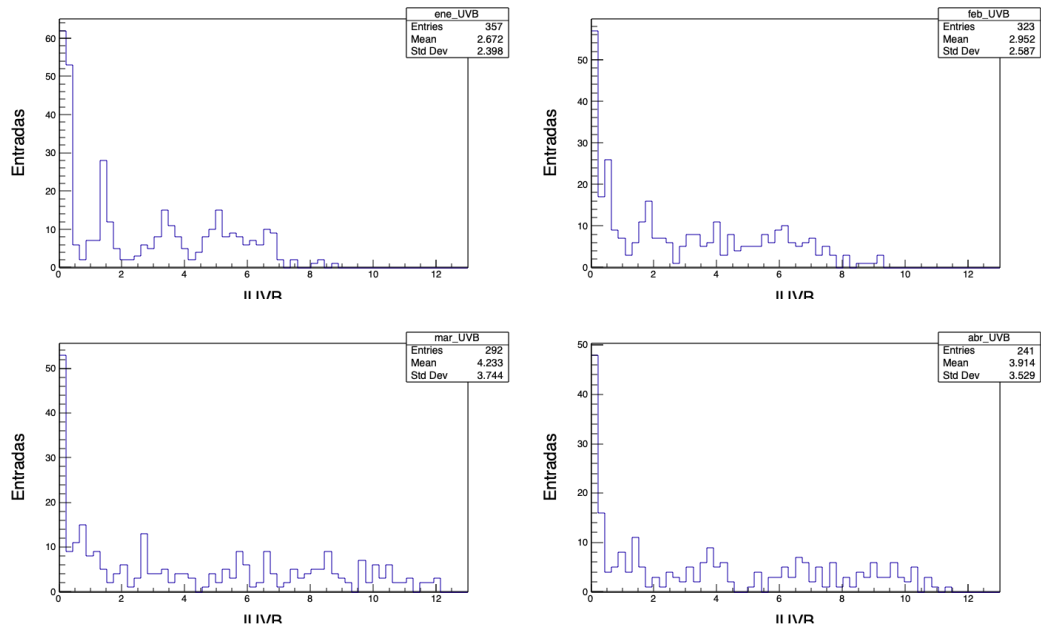


Figura 3.18: Distribución de IUVB. Se muestra el número de entradas por valor de IUVB en la estación PED. Enero-abril 2002

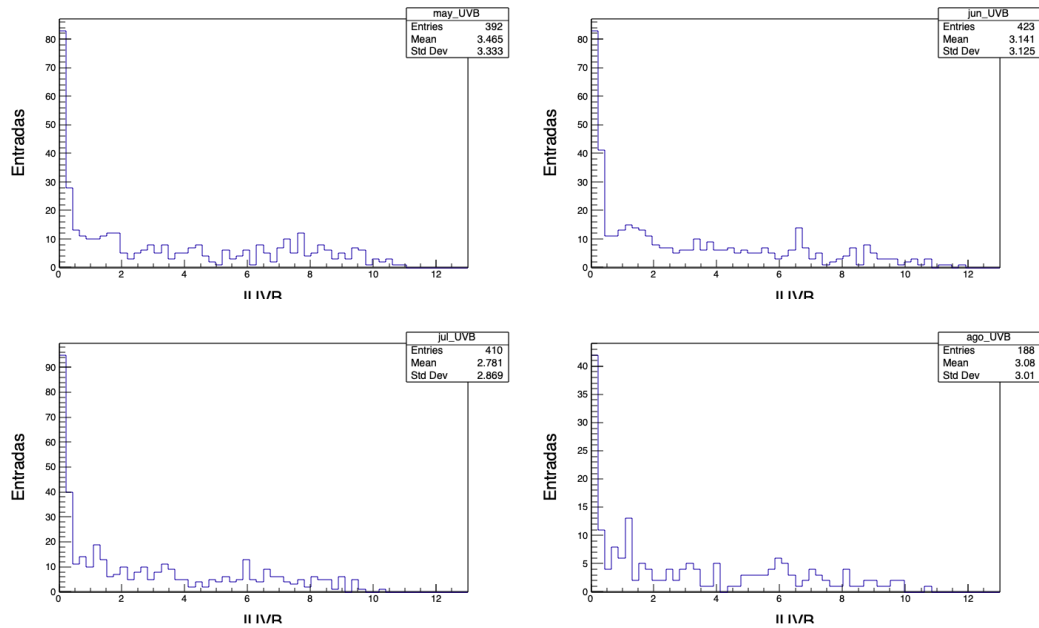


Figura 3.19: Distribución de IUVB. Se muestra el número de entradas por valor de IUVB en la estación PED. Mayo-agosto 2002.

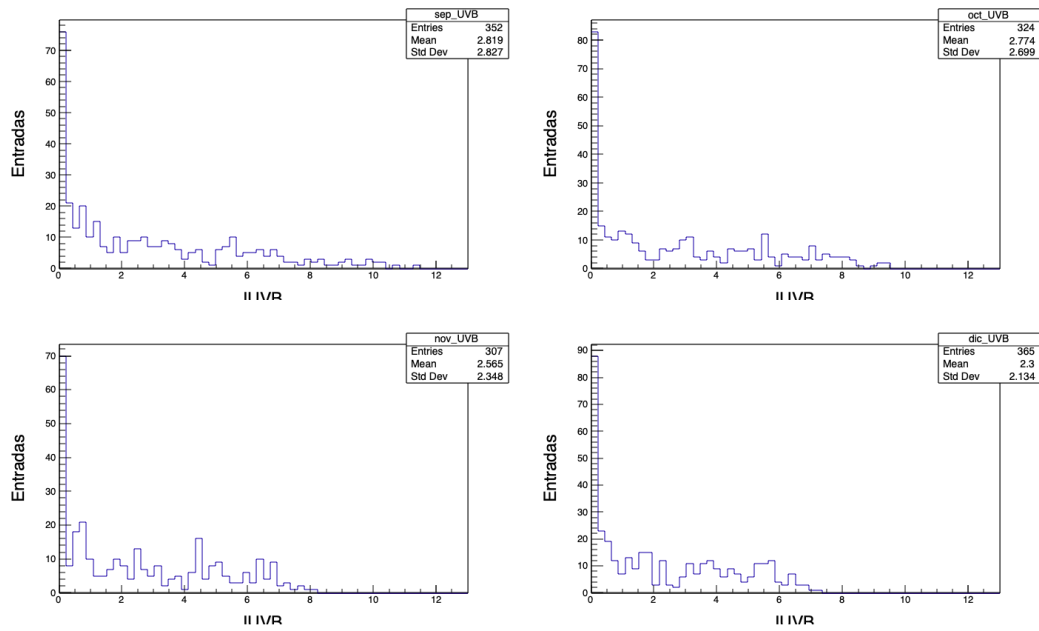


Figura 3.20: Distribución de IUVB. Se muestra el número de entradas por valor de IUVB en la estación PED. Septiembre-diciembre 2002

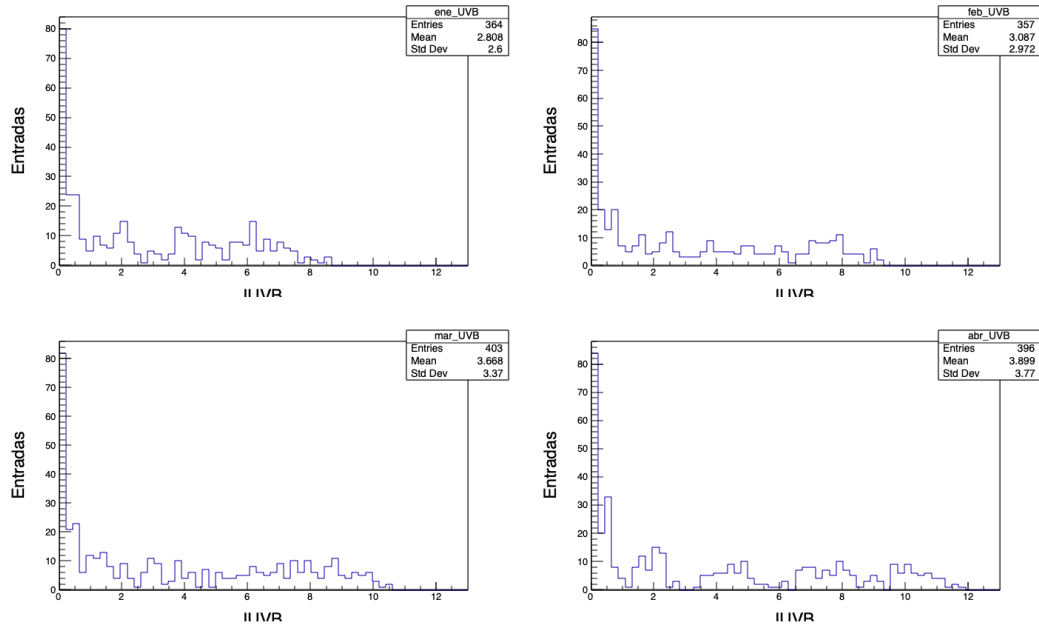


Figura 3.21: Distribución de IUVB. Se muestra el número de entradas por valor de IUVB en la estación PED. Enero-abril 2011

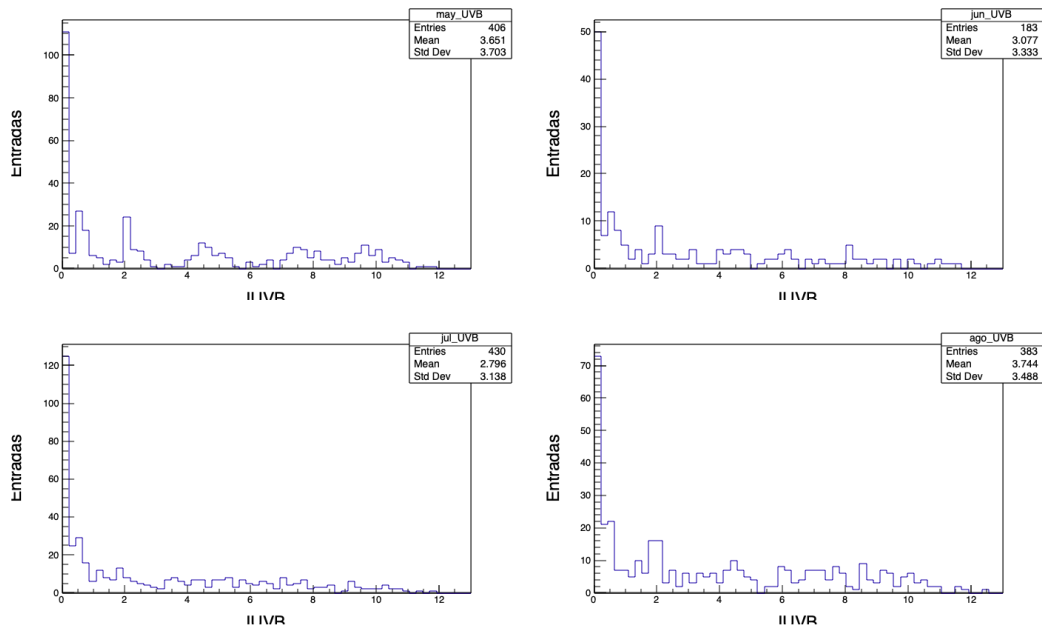


Figura 3.22: Distribución de IUVB. Se muestra el número de entradas por valor de IUVB en la estación PED. Mayo-agosto 2011.

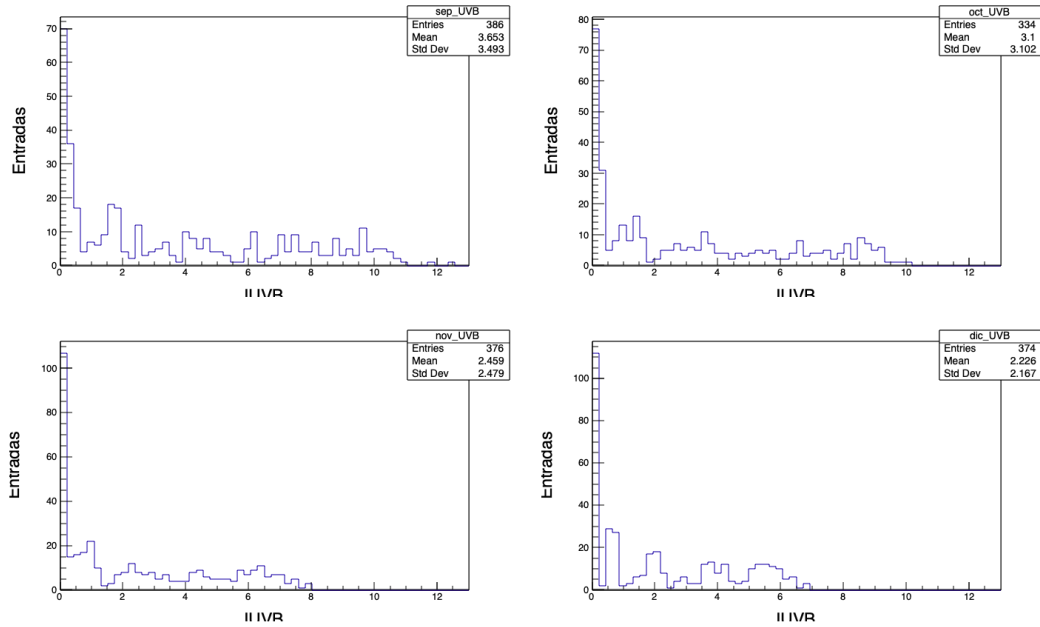


Figura 3.23: Distribución de IUVB. Se muestra el número de entradas por valor de IUVB en la estación PED. Septiembre-diciembre 2011.

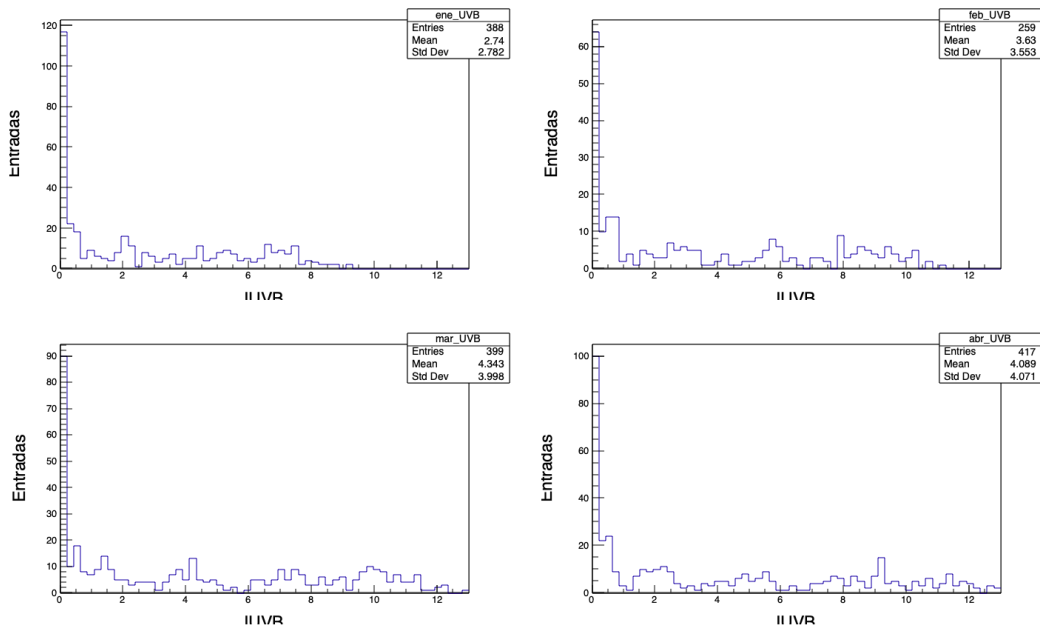


Figura 3.24: Distribución de IUVB. Se muestra el número de entradas por valor de IUVB en la estación PED. Enero-abril 2022

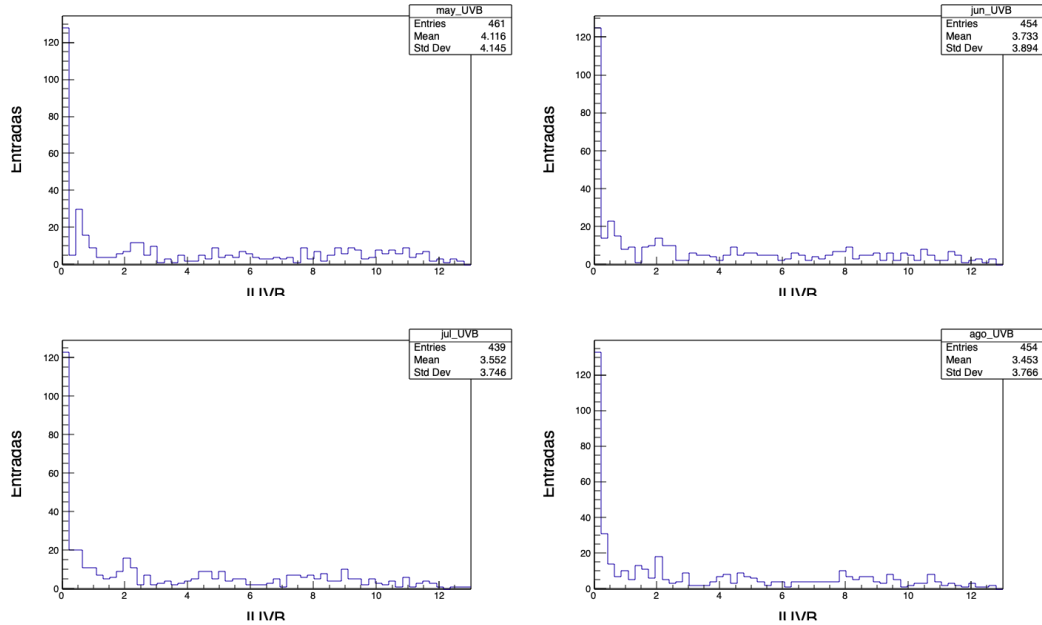


Figura 3.25: Distribución de IUVB. Se muestra el número de entradas por valor de IUVB en la estación PED. Mayo-agosto 2022.

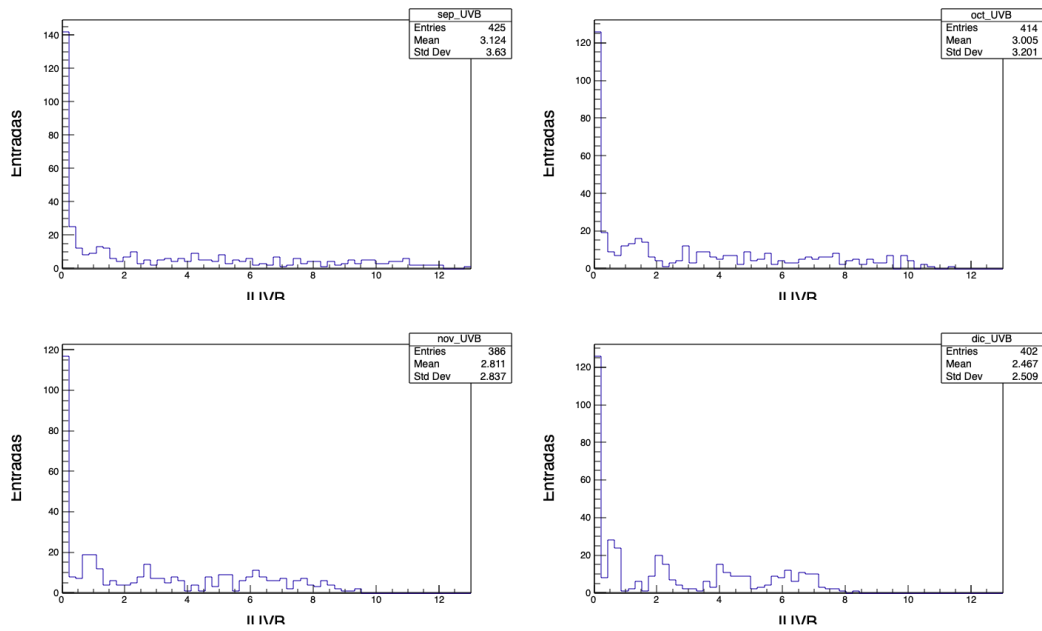


Figura 3.26: Distribución de IUVB. Se muestra el número de entradas por valor de IUVB en la estación PED. Septiembre-diciembre 2022

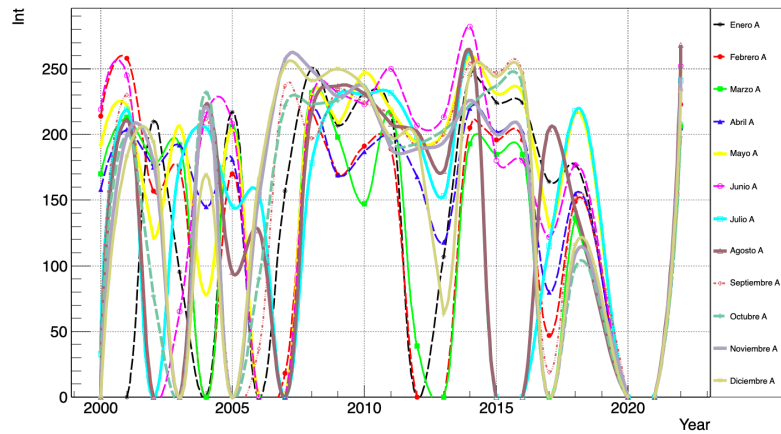


Figura 3.27: Valor de la integral encontrada en la distribución IUVB por año para la estación de la Merced.

En estas gráficas se observa el valor obtenido para la integral por año en cada mes para IUVB. Los valles que se observan, donde la integral es cero, corresponden a la ausencia de datos adquiridos por la estación.

En general, se observa que los valores más bajos de la integral se registran para los meses de febrero, marzo, abril, septiembre y octubre.

Para las distintas estaciones se alcanzó un valor máximo de la integral por encima de 250 para los rayos UVB. Esto en los meses de enero, febrero, mayo, junio, julio y septiembre.

En el caso de la estación mostrada en esta sección, el valor máximo fue de aproximadamente 280 en 2014.

Las siguientes gráficas se refieren al valor máximo de índice UVB alcanzado por la misma estación.

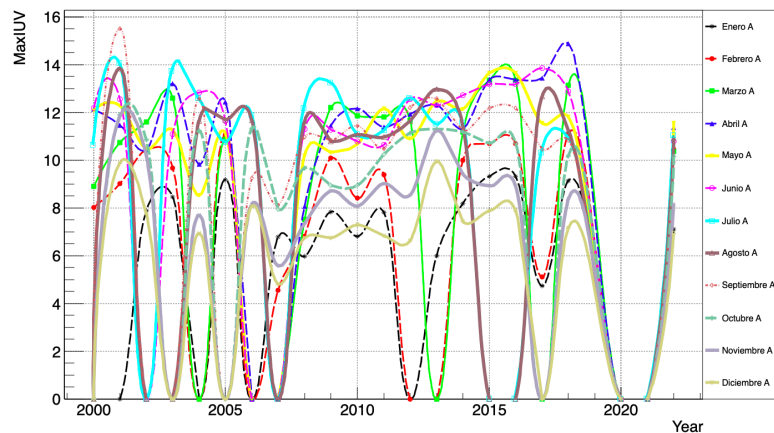


Figura 3.28: Índice UVB máximo encontrado desde 2000 hasta 2022 en la estación del Pedregal.

No se observa que todos los meses sobrepasen un valor de 7. Particularmente para esta estación, los meses que no excedieron este valor en todos los años fueron noviembre, diciembre y enero. El resto de meses si superó el 7 en todos los años, alcanzando los máximos más altos en los meses de marzo a septiembre. Si bien hay meses en los distintos años que no superan el valor mencionado, estos son minoría.

Nuevamente, se observan los periodos sin registro de datos como valles que llegan hasta el cero.

Las siguientes gráficas representan el valor más probable de el índice UVB según el número de entradas obtenidas para cada valor.

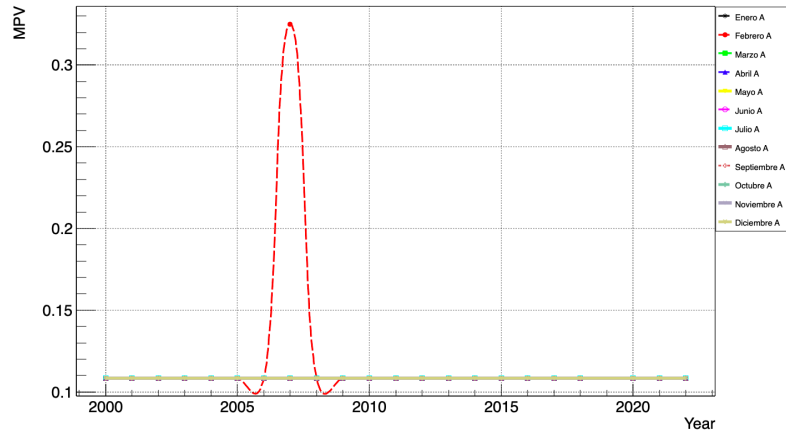


Figura 3.29: Valor más probable de IUVB desde 2000 hasta 2022 en la estación del Pedregal.

El valor más probable es pequeño, siendo el más alto en 0.32 para la estación de la Merced en febrero de 2006. El resultado más común se encuentra alrededor de 0.1 para el resto de las estaciones, años y meses representados.

Las siguientes gráficas representan los promedios obtenidos:

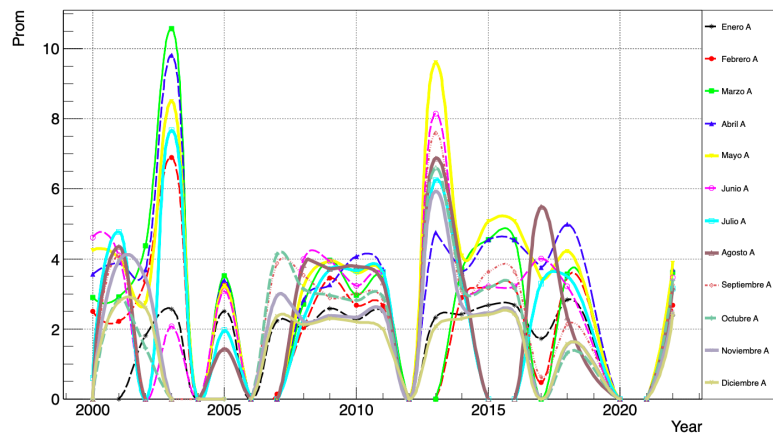


Figura 3.30: Promedios encontrados para IUVB desde 2000 hasta 2022 en la estación del Pedregal.

Se observa que en general los promedios se mantuvieron por debajo del 7, con valores entre 1 y 5

aproximadamente. Se observan dos picos prominentes alrededor de 2003 y 2013, correspondientes a los ciclos solares, que tienen una periodicidad promedio de 11 años[34]. Se prevé que el próximo ciclo alcance su punto más alto alrededor de 2024[35].

# Capítulo 4

## Conclusiones

Si bien una exposición diaria al Sol es inevitable y recomendada, la radiación UVB que emite puede provocar daños importantes a nuestra salud, que van desde quemaduras solares hasta cáncer de piel. Para que esta exposición sea segura, es necesario contar con las herramientas adecuadas, como lo es el Índice UV. A continuación, se presentan las conclusiones extraídas al respecto

El periodo de tiempo en el cual la radiación UVB registra mayor índice UV y por tanto, la exposición es más peligrosa, se observa de manera aproximada desde las 11 de la mañana hasta las 4 de la tarde en la Ciudad de México. Esto concuerda con la mayor altura del Sol en el cielo. Este periodo puede durar entre una y cinco horas, dependiendo del mes y otros factores.

La diferencia entre las conocidas estaciones del año y su relación con la distribución del IUV se observó de manera clara; en primavera y verano se registraron más entradas para la radiación UVB. Esto no quiere decir que no sea peligroso exponerse al sol sin protección durante las estaciones correspondientes al otoño e invierno, pues aun si el periodo de tiempo donde el índice supera al 7 el número de entradas correspondientes es más corto, la observación de los datos indica que incluso durante esos meses existen entradas que superan el valor mencionado. Para conocer de manera exacta la distribución de esas entradas individuales tendría que hacerse la recolección y análisis de los datos de manera diaria. Sin embargo, la precaución cotidiana es recomendada.

En concordancia con otros estudios realizados y presentados en esta tesis, el IUVB a través de los años se mantuvo prácticamente constante; no se observó un claro crecimiento o decrecimiento en cuanto a datos de promedio, máximo IUV, valor de la integral o valor más probable, así como tampoco en los periodos de tiempo en los que el IUVB es mayor. Los picos en los promedios observados alrededor del 2003 y 2013 se relacionan con los ciclos solares, que cuentan con una periodicidad promedio de 11 años. El próximo está previsto para el 2024. Por lo antes mencionado, no se puede afirmar el calentamiento global de temperaturas a partir de estos datos. Esto no significa necesariamente que no exista, si no que no ha sido reflejado por el parámetro del IUVB.

Para futuros trabajos relacionados, se propone un monitoreo continuo y análisis del índice UV en años posteriores, pues es importante como mecanismo de supervisión, así como hacer énfasis sobre la importancia tomar las precauciones adecuadas para prevenir los efectos negativos asociados a

la radiación ultravioleta tipo B sobre el cuerpo humano.

# Bibliografía

- [1] McKenzie, Richard, et al. "Success of Montreal Protocol demonstrated by comparing high-quality UV measurements with 'world avoided' calculations from two chemistry-climate models." *Scientific Reports*, vol. 9, no. 1, 3 Sept. 2019, <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48625-z>.
- [2] Bernhard, G.H., Bais, A.F., Aucamp, P.J. et al. "Stratospheric ozone, UV radiation, and climate interactions". *Photochem Photobiol Sci* 22, 937–989 (2023). <https://doi.org/10.1007/s43630-023-00371-y>
- [3] Newman, P.A., McKenzie, R. UV impacts avoided by the Montreal Protocol. *Photochem Photobiol Sci* 10, 1152–1160 (2011). <https://doi.org/10.1039/c0pp00387e>
- [4] "The Montreal Protocol: Triumph by Treaty." UNEP, [www.unep.org/news-and-stories/story/montreal-protocol-triumph-treaty](http://www.unep.org/news-and-stories/story/montreal-protocol-triumph-treaty). Accessed 11 Feb. 2024.
- [5] Fountoulakis, I., Bais, A.F. "Projected changes in erythemal and vitamin D effective irradiance over northern-hemisphere high latitudes". *Photochem Photobiol Sci* 14, 1251–1264 (2015). <https://doi.org/10.1039/c5pp00093a>
- [6] Bais, A.F., McKenzie, R.L., Bernhard, G. et al. Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation. *Photochem Photobiol Sci* 14, 19–52 (2015). <https://doi.org/10.1039/c4pp90032d>
- [7] Valappil, Ninu Krishnan, et al. "Assessment of spatiotemporal variability of ultraviolet index (UVI) over Kerala, India, using satellite remote sensing (OMI/Aura) data." *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 196, no. 2, 3 Jan. 2024, <https://doi.org/10.1007/s10661-023-12239-w>.
- [8] "Global Distribution and 14-Year Changes in Erythemal Irradiance, UV Atmospheric Transmission, and Total Column Ozone 2005 – 2018 Estimated from Omi and Epic Observations - NASA Technical Reports Server (NTRS)." NASA, NASA, [ntrs.nasa.gov/citations/20210014739](https://ntrs.nasa.gov/citations/20210014739). Accessed 11 Feb. 2024.
- [9] "What Color Is the Sun??" Mayo, L, NASA, [eclipse2017.nasa.gov/what-color-sun](https://eclipse2017.nasa.gov/what-color-sun). Accessed 29 Jan. 2024.
- [10] "The Visible Spectrum." *Encyclopædia Britannica*, Encyclopædia Britannica, inc., [www.britannica.com/science/color/The-visible-spectrum](http://www.britannica.com/science/color/The-visible-spectrum). Accessed 30 Jan. 2024.
- [11] Science Mission Directorate. Infrared Waves - NASA Science, NASA , [science.nasa.gov/ems/07\\_infraredwaves](https://science.nasa.gov/ems/07_infraredwaves). Accessed 30 Jan. 2024.
- [12] Fluke. "What Is Thermal Imaging? Thermal Cameras and How They Work." Fluke, 25 Jan. 2024, [www.fluke.com/en-us/learn/blog/thermal-imaging/how-infrared-cameras-work](http://www.fluke.com/en-us/learn/blog/thermal-imaging/how-infrared-cameras-work).

- [13] “Ultraviolet Radiation.” Encyclopædia Britannica, Encyclopædia Britannica, inc., 5 Jan. 2024, [www.britannica.com/science/ultraviolet-radiation](http://www.britannica.com/science/ultraviolet-radiation).
- [14] “Radiation: Ultraviolet (UV) Radiation.” World Health Organization, World Health Organization, [www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-ultraviolet-\(uv\)](http://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-ultraviolet-(uv)). Accessed 30 Jan. 2024.
- [15] “Ionizing Radiation - Background.” Occupational Safety and Health Administration, [www.osha.gov/ionizing-radiation/background](http://www.osha.gov/ionizing-radiation/background). Accessed 31 May 2024.
- [16] “¿Qué Son Los Rayos X? ¿Tiene Efectos Secundarios? ¿Es Dolorosa?” Cecoten, 27 Mar. 2020, [cecoten.com/servicios-medicos-y-consultas/rayos-x-diagnosticos/](http://cecoten.com/servicios-medicos-y-consultas/rayos-x-diagnosticos/).
- [17] Brozyna, Anna, et al. “Mechanism of UV-related carcinogenesis and its contribution to Nevi/Melanoma.” *Expert Review of Dermatology*, vol. 2, no. 4, Aug. 2007, pp. 451–469, <https://doi.org/10.1586/17469872.2.4.451>.
- [18] Shen, Cherry. “Spectrometer vs. radiometer vs. spectroradiometer.” LISUN, 21 Nov. 2023, [www.lisungroup.com/news/technology-news/spectrometer-vs-radiometer-vs-spectroradiometer-major-differences.html](http://www.lisungroup.com/news/technology-news/spectrometer-vs-radiometer-vs-spectroradiometer-major-differences.html).
- [19] Paschotta, Dr. Rüdiger. “Irradiance.” RP Photonics Encyclopedia, RP Photonics AG, 28 Nov. 2023, [www.rp-photonics.com/irradiance.html](http://www.rp-photonics.com/irradiance.html).
- [20] Rehfuss, Eva. *Global Solar UV Index a Practical Guide*. WHO, 2002.
- [21] McKenzie, R., Smale, D., Kotkamp, M. Relationship between UVB and erythemally weighted radiation". *Photochem Photobiol Sci* 3, 252–256 (2004). <https://doi.org/10.1039/b312985c>
- [22] “Radiation: The Known Health Effects of Ultraviolet Radiation.” World Health Organization, [www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-the-known-health-effects-of-ultraviolet-radiation](http://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-the-known-health-effects-of-ultraviolet-radiation). Accessed 30 Jan. 2024.
- [23] Juzeniene, Asta, and Johan Moan. “Beneficial effects of UV radiation other than via vitamin D production.” *Dermato-Endocrinology*, vol. 4, no. 2, Apr. 2012, pp. 109–117, <https://doi.org/10.4161/derm.20013>.
- [24] Veleva, Bistra I., et al. “Effect of ultraviolet light on mood, depressive disorders and well-being.” *Photodermatology, Photoimmunology&Photomedicine*, vol. 34, no. 5, 25 June 2018, pp. 288–297, <https://doi.org/10.1111/phpp.12396>.
- [25] “Tanning.” The Skin Cancer Foundation, [www.skincancer.org/risk-factors/tanning/](http://www.skincancer.org/risk-factors/tanning/). Accessed 2 Feb. 2024.
- [26] “Health Effects of UV Radiation.” Sun Safety, Environmental Protection Agency, [www.epa.gov/sunsafety/health-effects-uv-radiation#aging](http://www.epa.gov/sunsafety/health-effects-uv-radiation#aging). Accessed 30 Jan. 2024.
- [27] “Radiación Ultravioleta.” World Health Organization, WHO, 21 July 2022, [www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ultraviolet-radiation](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ultraviolet-radiation).
- [28] “Información Básica Sobre El Cáncer de Piel.” Cáncer de Piel, Centers for Disease Control and Prevention, 18 Apr. 2023, [www.cdc.gov/spanish/cancer/skin/basic\\_info/index.htm](http://www.cdc.gov/spanish/cancer/skin/basic_info/index.htm).

- [29] “Índice de Radiación Ultravioleta.” Dirección de Monitoreo Atmosférico, Gobierno de la ciudad de México, [www.aire.cdmx.gob.mx/aire/default.php](http://www.aire.cdmx.gob.mx/aire/default.php). Accessed 31 Jan. 2024.
- [30] TF, Downham. “The Shadow Rule: A Simple Method for Sun Protection.” *Southern Medical Journal*, U.S. National Library of Medicine, July 1998, [pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9671831/](http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9671831/).
- [31] “How Do I Protect Myself from Ultraviolet (UV) Rays?” Information and Resources about Cancer: Breast, Colon, Lung, Prostate, Skin, American Cancer Society, 23 July 2019, [www.cancer.org/cancer/risk-prevention/sun-and-uv/uv-protection.html](http://www.cancer.org/cancer/risk-prevention/sun-and-uv/uv-protection.html).
- [32] Dirección de Monitoreo Atmosférico, [www.aire.cdmx.gob.mx/aire/default.php](http://www.aire.cdmx.gob.mx/aire/default.php). Accessed Dec. 2023.
- [33] Pública, Agencia Digital de Innovación. Portal de Datos Abiertos de La CDMX, [datos.cdmx.gob.mx/dataset/radiacion-solar-uva](http://datos.cdmx.gob.mx/dataset/radiacion-solar-uva). Accessed 12 Mar. 2024.
- [34] Zhu, Hongbing, et al. “Predicting solar cycle 25 using an optimized long short-term memory model based on Sunspot Area Data.” *Advances in Space Research*, vol. 71, no. 8, Apr. 2023, pp. 3521–3531, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.01.042>.
- [35] Bhowmik, Prantika, and Dibyendu Nandy. “Prediction of the strength and timing of sunspot cycle 25 reveal decadal-scale space environmental conditions.” *Nature Communications*, vol. 9, no. 1, 6 Dec. 2018, <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07690-0>.