



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas

Análisis de datos del IUVB y su correlación con la tasa de mortalidad del melanoma en la Ciudad de México: un enfoque para determinar rezagos temporales

Tesis presentada al

Colegio de Física

como requisito parcial para la obtención del grado de

LICENCIADO EN FÍSICA

por

Eliseo Pérez Cortes

Asesorado por

Dr. Cristian Heber Zepeda Fernández

Puebla Pue.
13 de junio de 2025



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas

Análisis de datos del IUVB y su correlación con la tasa de mortalidad del melanoma en la Ciudad de México: un enfoque para determinar rezagos temporales

Tesis presentada al

Colegio de Física

como requisito parcial para la obtención del grado de

LICENCIADO EN FÍSICA

por

Eliseo Pérez Cortes

Asesorado por

Dr. Cristian Heber Zepeda Fernández

Puebla Pue.
13 de junio de 2025

Título: Análisis de datos del IUVB y su correlación con la tasa de mortalidad del melanoma en la Ciudad de México: un enfoque para determinar rezagos temporales

Estudiante: ELISEO PÉREZ CORTES

COMITÉ

Dr. Eduardo Moreno Barbosa
Presidente

Dr. Lucio Fidel Rebolledo Herrera
Secretario

Dr. Mario Rodríguez Cahuantzi
Vocal

Dr. Marco Antonio Arroyo Ureña
Suplente

Dr. Cristian Heber Zepeda Fernández
Asesor

Agradecimientos

Esto no habría sido posible sin el apoyo y amor incondicional de mi familia. Por ello, quiero agradecer a mi madre María Isabel Cortes por todo lo que me ha brindado y a mi padre Juan Francisco Pérez. También agradezco el apoyo de mi hermana María Leticia y en general, el de mis hermanos y cuñadas.

Por otro lado, agradezco a mis amigos, quienes hicieron más ameno este camino, en especial a Alejandro Iván y a Juan Jesús con quienes compartí buenas experiencias.

Además, agradezco el tiempo y la retroalimentación de mi jurado. Y sobre todo agradezco al Dr. Cristian Heber Zepeda por su guía y asesoramiento.

Gracias.

Índice general

Resumen	XIII
1. Introducción	1
1.1. Radiación solar	1
1.2. Radiación Ultravioleta (UV)	2
1.2.1. Clasificación de la radiación UV	2
1.2.2. Penetración de la radiación UV a la Tierra	3
1.2.3. Factores dependientes al nivel de radiación UV	3
1.2.4. Unidades de la radiación UV	4
1.2.5. Detectores de radiación UV	6
1.2.6. Fuentes artificiales de radiación UV	6
1.3. El índice de la radiación ultravioleta Solar Mundial (IUV)	7
1.3.1. Fórmula del índice UV	7
1.3.2. Aplicaciones del IUV	8
1.3.3. El índice UV en Ciudad de México	8
1.4. Influencia de la radiación UV en la salud	8
1.4.1. Los fototipos de piel de Fitzpatrick	9
1.4.2. Beneficios de la radiación UV	9
1.4.3. Perjuicios de la radiación UV	10
1.5. Melanoma	12
1.5.1. Influencia de la radiación UVB en el melanoma	12
1.5.2. Tipo histológico del melanoma	12
1.5.3. Estadificación del melanoma	15
1.5.4. Tasa de supervivencia del melanoma	16
1.5.5. Regla del ABCDE	16
2. Estado del arte	17
2.1. Hipótesis	18
2.2. Objetivo general	18
2.3. Objetivos específicos	18
3. Metodología	19
3.1. Adquisición y distribución de los datos	19
3.2. Calculo del umbral del IUVB	19
3.3. Análisis para la caracterización del índice UVB (IUVB)	20
3.4. Obtención de datos de la mortalidad por melanoma	20
3.5. Correlación entre el IUVB y la tasa de mortalidad por melanoma	20

4. Resultados	23
4.1. Datos Inexistentes del IUVB	23
4.2. Histogramas y extracción de datos	25
4.3. Porcentaje de entradas del IUVB mayores o iguales a 8	26
4.3.1. Superposición del porcentaje	28
4.3.2. Porcentaje general	29
4.4. Media de entradas del IUVB	29
4.4.1. Superposición de la media	33
4.4.2. Media general	33
4.5. Valores máximos alcanzados del IUVB	34
4.6. Tasa de Mortalidad del Melanoma en la Ciudad de México de los años 2000 a 2020	35
4.7. Correlación Aplicada	35
4.7.1. Correlación del porcentaje general de entradas mayores o iguales a 8 del IUVB con la tasa de mortalidad	35
4.7.2. Correlación de la media general con la tasa de mortalidad	37
5. Discusión de resultados	39
6. Conclusión	41
7. Recomendaciones	43
A. Correlación de Spearman	45
B. Valores máximos del IUVB alcanzados por mes en cada estación	47
C. Valores de la media de entradas totales del IUVB por mes en cada estación	55
Bibliografía	63

Índice de figuras

1.1. Diagrama del espectro electromagnético.	2
1.2. Curva de radiación del sol con su porcentaje de radiación emitida.	3
1.3. Penetración de la radiación a la Tierra.	4
1.4. Dependencias y datos del la radiación UV.	5
1.5. Categorías de exposición a la radiación ultravioleta.	7
1.6. Índice UV con recomendaciones.	8
1.7. Mapa de la distribución de las estaciones, aquellas que están encerradas en circulo rojo, cuentan con mediciones del IUV.	9
1.8. Penetración de la radiación UVA y UVB en la piel.	10
1.9. Tonos de piel y su propensión a quemaduras.	11
1.10. Células en la epidermis.	12
1.11. Visualización del melanoma maligno de extensión superficial	13
1.12. Visualización del melanoma lentigo maligno.	13
1.13. Visualización del melanoma lentigo acral.	14
1.14. Visualización del melanoma maligno nodular.	14
4.1. Histograma de entradas totales en la estación San Agustín en el mes de abril del año 2018.	26
4.2. Histograma de entradas mayores o iguales a 8 en la estación San Agustín en el mes de abril del año 2018.	27
4.3. Porcentaje del IUVB de valores mayores o iguales a 8 que incidieron en la estación Merced por año.	28
4.4. Porcentaje del IUVB de valores mayores o iguales a 8 que incidieron en la estación Tlalnepantla por año.	28
4.5. Porcentaje del IUVB de valores mayores o iguales a 8 que incidieron en la estación de San Agustín por año.	29
4.6. Porcentaje del IUVB de valores mayores o iguales a 8 que incidieron en la estación de Pedregal por año.	29
4.7. Porcentaje del IUVB de valores mayores o iguales a 8 que incidieron en la estación de Montecillo por año.	30
4.8. Superposición de porcentaje del IUVB de valores mayores o iguales a 8 que incidieron en cada estación.	30
4.9. Promedio del porcentaje del IUVB mayores o iguales a 8 en las 5 estaciones.	31
4.10. Media anual para la estación Merced con desviación estándar.	31
4.11. Media anual para la estación de Tlalnepantla con desviación estándar.	32
4.12. Media anual para la estación de San Agustín con desviación estándar.	32
4.13. Media anual para la estación de Pedregal con desviación estándar.	33
4.14. Media anual para la estación de Montecillo con desviación estándar.	33
4.15. Superposición de la media en cada estación.	34
4.16. Media anual tomando en cuenta las 5 estaciones.	35

4.17. Valores máximos alcanzados en los años 2020 a 2022 en la estación Merced.	36
4.18. Tasa del melanoma en los años 2000 a 2020 de la Ciudad de México.	37
4.19. Distribución y valor del coeficiente de correlación del porcentaje del IUVB con la tasa de mortalidad contra rezagos temporales.	37
4.20. Distribución y valor del coeficiente de correlación de la media general del IUVB con la tasa de mortalidad contra rezagos temporales.	38

Índice de tablas

1.1. Algunas unidades para cuantificar la luz.	6
1.2. Clasificación TNM y descripción de las etapas del melanoma.	15
1.3. Tasas de Supervivencia por Estadío y clasificación del Melanoma.	16
4.1. Valores del coeficiente y el p-valor al aplicar la correlación con rezagos diferentes rezagos temporales para el porcentaje general.	36
4.2. Valores del coeficiente y el p-valor al aplicar la correlación con rezagos diferentes rezagos temporales para la media general.	38

Resumen

En este trabajo se presenta un análisis de datos para la obtención y caracterización del índice de la radiación UVB (IUVB) en la Ciudad de México. Los datos se recopilan de cinco estaciones seleccionadas: Merced (MER), Tlalnepantla (TLA), San Agustín (SAG), Pedregal (PED) y Montecillo (MON), de la Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA) que abarcan los años 2000 a 2022 sin incluir 2019. Estos datos se procesan utilizando ROOT, obteniendo la distribución de entradas totales y valores generales del IUVB por mes, así como las entradas y valores mayores o iguales a un índice de 8. Generando así el porcentaje de entradas de IUVB mayores o iguales a 8 que han incidido en cada mes, promediando los valores de cada mes para conocer el valor por año, luego promediar el de los 5 detectores para obtener valores generales en cada año. Además, se obtiene el valor de la media del IUVB para entradas generales de cada detector y el proceso de promedios se realiza de igual manera para la media, obteniendo la media por año en cada detector y la media general. Esto con el fin de describir tendencias generales, haciendo gráficas para cada caso.

Además, se extraen los valores máximos que hubo en cada mes para las entradas totales del IUVB y se graficaron por mes para observar su comportamiento.

Por último, se recopila información sobre la tasa de mortalidad por melanoma en la Ciudad de México en los años 2000 a 2020. Con el objetivo de explorar posibles correlaciones entre la incidencia del IUVB y la mortalidad por este tipo de cáncer. Estas correlaciones van enfocadas a conocer los rezagos temporales descritos en años, pues este rezago implica que los efectos de la exposición a la radiación UVB no se reflejan de manera inmediata en la mortalidad, sino que pueden manifestarse después de un período de tiempo. Para determinar este desfase, se aplica la correlación que mejor se adapte a la distribución y al número de datos obtenidos en el análisis.

Capítulo 1

Introducción

En 2016, la Ciudad de México obtuvo la tasa más alta de mortalidad por melanoma en México. En general, la tasa de mortalidad ha ido en aumento desde el año 2000 hasta el año 2016 [1]. La altitud y la falta de conciencia hacen que la Ciudad de México sea un lugar donde el riesgo de melanoma debido a la exposición a los rayos UVB sea muy significativo [2]. Es importante conocer cómo se relaciona la exposición a la radiación UVB con la tasa de mortalidad del melanoma, saber qué pasa cuando la exposición a la radiación UVB es mayor o si es menor y el tiempo que tarda en reflejarse esa exposición en la tasa de mortalidad. Esto con el fin de conocer el comportamiento de ambos y saber qué medidas se pueden tomar para prevenir el aumento en la tasa de mortalidad por el melanoma o darle alguna otra utilidad a estos datos. Pero para ello, antes debemos saber qué es la radiación ultravioleta, su origen, sus tipos, su dependencia, cómo influye en nuestra salud, cómo se relaciona la exposición de la misma con el melanoma, qué es el melanoma y otros temas que se discutirán en este capítulo.

1.1. Radiación solar

El objeto celeste más grande en el sistema solar es nuestro sol, una gran esfera de hidrógeno y helio caliente, y sin él no existiría la vida como tal en nuestro planeta, ya que es la única estrella en el sistema solar. Además, gracias a su gran tamaño y gravedad, mantiene unido al sistema solar que conocemos hoy en día [3]. Las enormes temperaturas que hay en el sol, permiten un proceso llamado fusión. Como ya mencionamos, el sol está compuesto de hidrógeno. La fusión de los núcleos del hidrógeno producen el helio. La masa de este átomo de helio es menor a la suma de masas de los átomos de hidrógeno por los que fue producido; esta pérdida de masa se convierte en energía mientras sucede el proceso de fusión. Estas fusiones termonucleares que ocurren en el núcleo del sol liberan energía; esa energía es liberada en forma de radiación electromagnética. Aunque el sol emite esta radiación electromagnética en muchas longitudes de onda, en proporción radia más en algunas de ellas debido a su temperatura. El sol radia la mayor parte de su energía a cortas longitudes de onda (la longitud de onda de la radiación es el factor determinante de las propiedades de cada región específica del espectro electromagnético [4], véase en la Figura 1.1). En ellas se encuentra la banda de luz visible, también una radiación de longitud de onda más larga que el rojo del espectro visible (en forma de calor) y en la banda del ultravioleta (véase en la Figura 1.2). Toda esta radiación electromagnética abandona el sol y es distribuida por todo el espacio, así, la tierra recibe parte de esta radiación solar [5].

El estudio de la radiación solar comenzó a mediados del siglo XVII con los descubrimientos de Isaac Newton sobre el espectro de luz visible, como los colores que vemos en el arcoíris. Posteriormente, el descubrimiento del espectro infrarrojo (IR) se atribuye a William Herschel en el año 1800, demostrando la existencia de radiación más allá del extremo rojo de la luz visible, mientras que

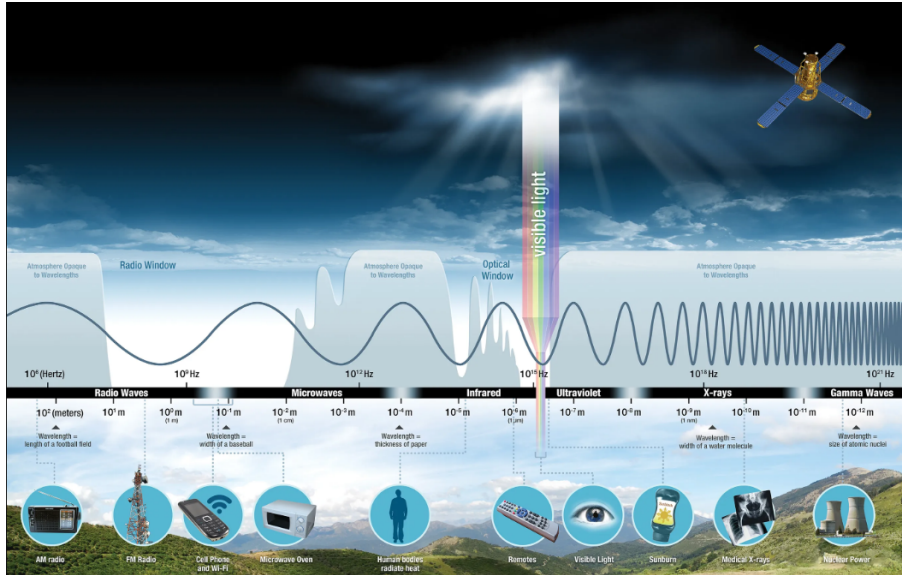


Figura 1.1: Diagrama del espectro electromagnético.

el espectro ultravioleta (UV) fue identificado por Johann Wilhelm Ritter en 1801, demostrando la existencia de radiación más allá del extremo violeta de la luz visible [6].

1.2. Radiación Ultravioleta (UV)

La radiación ultravioleta se caracteriza por poseer longitudes de onda menores en comparación con la luz visible. Los seres humanos no somos capaces de observar estas ondas; sin embargo, ciertos insectos (como los abejorros) tienen la capacidad de poder verlas [7].

Esta radiación se encuentra en el rango de 100 a 400 nm (Figura 1.1). Dentro del propio espectro UV, los efectos biológicos de la radiación varían significativamente según la longitud de onda. Esto ha llevado a su clasificación en tres subregiones [4].

1.2.1. Clasificación de la radiación UV

En 1932, William Coblentz propuso una clasificación del espectro ultravioleta en tres regiones: UVA (315–400 nm), UVB (280–315 nm) y UVC (<280 nm). Ese mismo año, en el Segundo Congreso Internacional de la Luz, celebrado en Copenhague en agosto, se presentó la primera propuesta formal para dividir el espectro UV en distintas regiones. En este evento, se recomendó una clasificación con límites ligeramente diferentes: UVA (400–315 nm), UVB (315–280 nm) y UVC (280–100 nm). Con el tiempo, estas definiciones fueron ajustadas según el contexto científico y médico. En 1978, John Parrish propuso una modificación de los límites de las bandas espectrales para adaptarlas a aplicaciones prácticas. En su revisión, el rango de UVC se amplió hasta 290 nm. Asimismo, el límite superior de UVB se extendió hasta 320 nm, debido a que la mayoría de los efectos biológicos estudiados en ese momento ocurrían en longitudes de onda inferiores a este umbral. La clasificación más utilizada actualmente en dermatología y medicina define las bandas espectrales del UV de la siguiente manera: UVA (315–400 nm), UVB (280–315 nm) y UVC (100–280 nm). Además, dentro del espectro UVA, se distingue entre UVAI (340–400 nm) y UVAIL (320–340 nm), ya que estudios en fotobiología molecular sugieren que esta subdivisión refleja mejor las diferencias en sus efectos biológicos. Si bien estas divisiones han sido ampliamente aceptadas, es importante

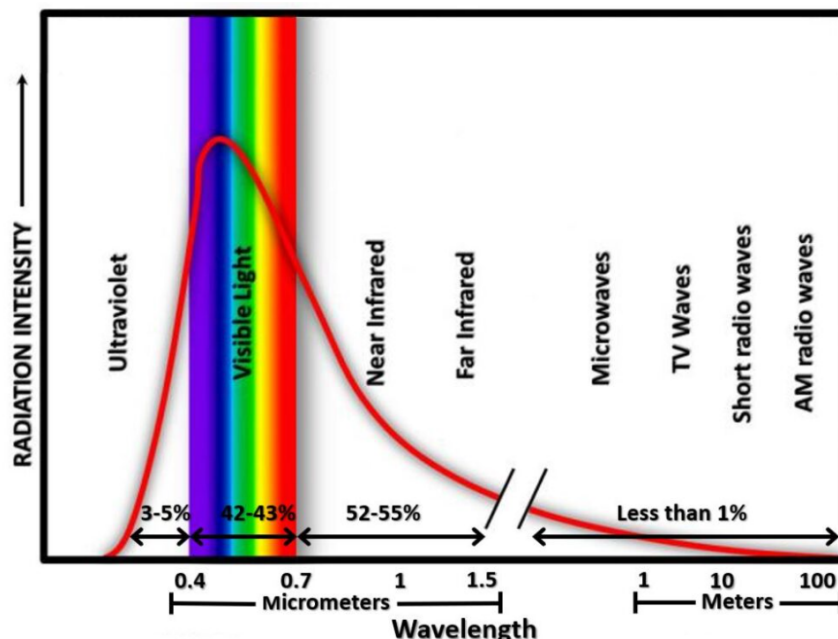


Figura 1.2: Curva de radiación del sol con su porcentaje de radiación emitida.

señalar que los límites entre las bandas no son absolutos y pueden variar dependiendo del área de estudio, resultando incluso a veces arbitrarios [4, 6].

1.2.2. Penetración de la radiación UV a la Tierra

Como ocurre con otras longitudes de onda de la radiación solar, la capacidad de penetración de los rayos UV se incrementa a medida que aumenta la longitud de onda ($UVA > UVB > UVC$), mientras que su energía disminuye en el mismo orden ($UVA < UVB < UVC$). En consecuencia, los rayos UVC son los más energéticos. [6].

La radiación solar que llega a la superficie terrestre ha sido sometida a ciertos procesos de absorción y reflexión en la atmósfera, que retiene aproximadamente un tercio de la radiación original. Del remanente de radiación que alcanza la tierra, alrededor del 5 % corresponde a la radiación ultravioleta. La capa de ozono, situada entre los 10 y los 50 kilómetros de altitud, juega un papel crucial al bloquear las longitudes de onda más cortas de la radiación ultravioleta (Figura 1.3), especialmente los UVC, que son los más peligrosos. Esta capa también absorbe casi el 90 % de los UVB, junto con otras sustancias atmosféricas como el vapor de agua, el oxígeno y el dióxido de carbono. Por otro lado, los UVA son menos absorbidos por la atmósfera. Por lo tanto, los UVA constituyen la mayor parte de la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre, con una pequeña fracción de UVB adicional [8].

1.2.3. Factores dependientes al nivel de radiación UV

La intensidad de esta radiación está influenciada por diversos factores, entre los cuales se destacan:

- **Estación del año:** En las regiones templadas, la radiación UV biológicamente dañina muestra una fuerte dependencia estacional. Sin embargo, esta variación es menos pronunciada cerca del ecuador, donde la radiación solar es más constante a lo largo del año [9].

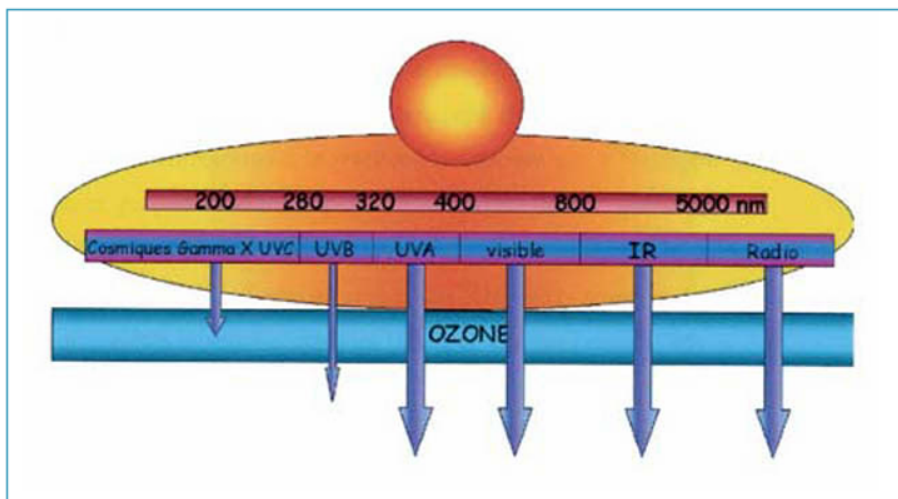


Figura 1.3: Penetración de la radiación a la Tierra.

- **Ángulo de inclinación de la Tierra:** La inclinación de la Tierra (aprox. 23.5°) causa las estaciones y modifica el ángulo de incidencia de la radiación solar, lo que influye en la cantidad de radiación UV que llega a la superficie, ya que los rayos recorren más atmósfera cuando el Sol está en una posición más cercana al horizonte. [10].
- **Latitud geográfica:** La cantidad anual de radiación UV disminuye a medida que aumenta la distancia desde el ecuador. [9].
- **Altitud:** A mayor altitud, la atmósfera se vuelve menos densa, lo que reduce la capacidad de absorción de la radiación UV. Por cada kilómetro de aumento en la altitud, la intensidad de esta aumenta aproximadamente un 10 % a 12 % [11].
- **Nubosidad:** Los cielos despejados permiten una mayor incidencia de radiación UV, sin embargo, incluso en días nublados los niveles pueden ser significativos debido a la dispersión de la luz (Figura 1.4) [11].
- **Concentración de ozono:** El ozono atmosférico actúa como un filtro natural que absorbe parte de la radiación UV. En áreas donde la capa de ozono es más delgada, la radiación que alcanza la superficie terrestre es mayor [11].
- **Reflectividad del suelo:** Superficies como el agua, la arena y la nieve tienen la capacidad de reflejar la radiación UV, lo que incrementa su intensidad en el entorno (Figura 1.4) [11].

1.2.4. Unidades de la radiación UV

Las fuentes de la radiación ultravioleta se caracterizan en unidades radiométricas y algunas unidades importantes se presentan en la Tabla 1.1.

En 1954, durante el Primer Congreso Internacional de Fotobiología, se definió como *dosis* o *dosis de exposición* a la energía de radiación ultravioleta que incide sobre una unidad de superficie de un objeto. Esta magnitud, equivalente en radiometría a la exposición radiante, se expresa en julios por centímetro cuadrado o por metro cuadrado. Esta exposición radiante es también conocida como *fluencia de energía*, y es importante resaltar que la fluencia representa la cantidad de energía que atraviesa una unidad de área del espacio normal a la dirección de propagación de un haz de

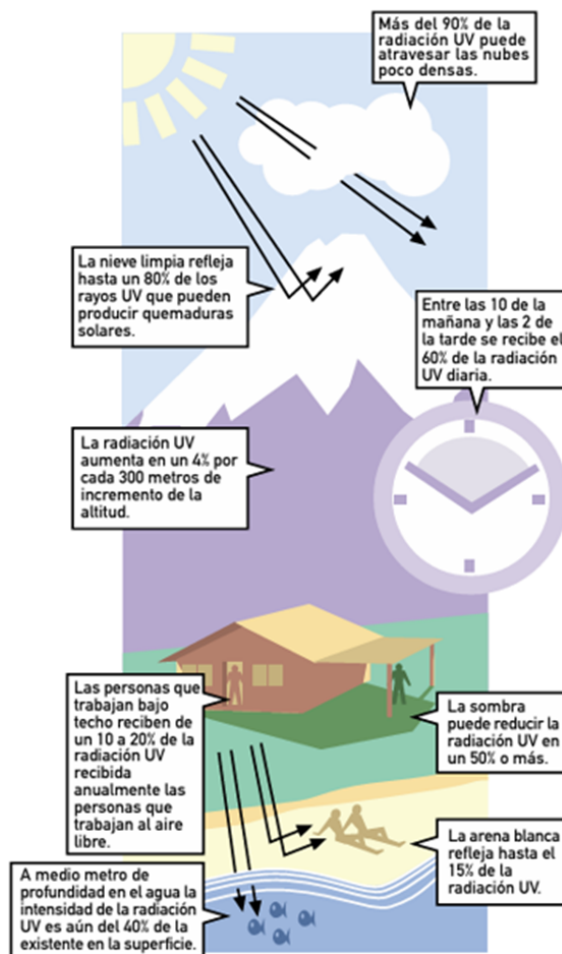


Figura 1.4: Dependencias y datos de la radiación UV.

radiación UV. Cuando la energía radiante proviene de múltiples direcciones, la fluencia en un punto se calcula como la suma de todas las contribuciones que inciden sobre esa superficie, por lo que *fluencia de energía* tiende a ser un término más acertado aunque usualmente menos usado. Por otro lado, la *tasa de fluencia de energía* se define como la potencia que atraviesa una unidad de área perpendicular a la dirección de propagación, expresada en unidades de energía por unidad de área y tiempo ($J/m^2/s$ o W/m^2) [12].

En fotobiología cutánea, la *dosis eritematosa mínima* (MED, por sus siglas en inglés) es una unidad de dosis efectiva que representa la cantidad mínima de radiación UV necesaria para producir un eritema claramente visible en la piel después de 24 horas. También se utiliza como referencia la dosis de radiación UV que causa un enrojecimiento apenas perceptible, conocido como *eritema mínimo perceptible*, el cual en ocasiones también se denomina MED. Para personas con piel sensible al sol, un valor representativo de esta dosis es de $200 J/m^2$ [13]. Con este valor notamos que el MED no es una medida estándar, por el contrario, abarca la variable de la sensibilidad individual a la radiación UV. Para evitar confusiones, se sugiere reservar el MED para estudios observacionales en humanos y animales, y el término *dosis estándar de eritema* (SED) sea una medida estandarizada de la radiación UV eritematogénica [14].

Término	Símbolo internacional	Definición, unidades y comentarios
Longitud de onda	λ	Nanómetro (nm) = 10^{-9} m (también llamado milimicrón, mp).
Energía radiante	Q_e	$\Sigma(P_e \times dt)$; Julio (J); 1 julio = 1 watt $\times$ segundo; energía total contenida en un campo de radiación o energía total entregada a un receptor por dicho campo de radiación.
Flujo radiante	P_e	dQ_e/dt ; Watt (W); tasa de entrega de energía radiante ('potencia radiante'); también expresada como ϕ .
Irradiancia	E_e	dP_e/dA ; W/m ² ; flujo radiante que llega a una área dada ('tasa de fluencia', 'tasa de dosis', 'intensidad', 'incidencia radiante'). En fotobiología, también se ha expresado en W/cm ² , mW/cm ² y μ W/cm ² .
Intensidad radiante	I_e	$dP_e/d\Omega$; W/sr; Watt/estereorradián; flujo radiante emitido por una fuente en un ángulo sólido dado (ángulo sólido expresado en estereorradianes).
Radiancia	L_e	$dP_e/dA \times d\Omega$; W/m ² $\times$ sr; Watt/m ² $\times$ estereorradián; flujo radiante por unidad de ángulo sólido por unidad de área emitido por una fuente extendida.
Exposición radiante	H_e	$E_e \times t$; J/m ² ; energía radiante entregada a una área dada ('fluencia', 'dosis de exposición', 'dosis'); t = tiempo en segundos. También se ha expresado como J/cm ² , mJ/cm ² y μ J/cm ² .

Tabla 1.1: Algunas unidades para cuantificar la luz.

1.2.5. Detectores de radiación UV

La radiación ultravioleta se mide con detectores químicos o físicos, a menudo combinados con monocromadores o filtros de banda para seleccionar longitudes de onda específicas. Los detectores físicos incluyen dispositivos radiométricos, que miden el calentamiento por radiación, y fotoeléctricos, que detectan fotones mediante efectos cuánticos, como la generación de electrones. Mientras que los detectores químicos incluyen emulsiones fotográficas, soluciones actinométricas y películas plásticas sensibles a los UV [12].

1.2.6. Fuentes artificiales de radiación UV

Todos los días estamos expuestos a la radiación solar y, por ende, a la radiación UV. Sin embargo, esta radiación puede proceder de otros lugares, es decir, fuentes artificiales de radiación UV. Hay varias fuentes artificiales de radiación UV; entre ellas se incluyen las lámparas de bronceado (usadas en las camas solares o las lámparas de rayos UVA), dispositivos médicos utilizados en fototerapia (como tratamientos con PUVA y UVB para afecciones de la piel) y dispositivos industriales utilizados para soldadura o la esterilización. También se destacan las lámparas fluorescentes y las de espectro completo, que emiten pequeñas cantidades de radiación UV. En general, estas fuentes se utilizan en diversos contextos, desde el bronceado cosmético hasta tratamientos médicos y procesos industriales [15].

1.3. El índice de la radiación ultravioleta Solar Mundial (IUV)

El Índice UV fue desarrollado en Canadá en 1992 como respuesta a la creciente inquietud por el posible incremento de la radiación ultravioleta asociado con la disminución de la capa de ozono. Posteriormente, en 1994, la Organización Meteorológica Mundial y la Organización Mundial de la Salud lo adoptaron como un estándar para medir los niveles de radiación UV. Este fue creado para representar la radiación UV eritematogénica de una manera fácil de entender [16], pues el IUV se comunica generalmente como un valor único, redondeado al número entero más cercano, y se clasifica en categorías de exposición que van desde Baja ($IUV < 2$) hasta Extremadamente Alta ($IUV \geq 11$) (Figura 1.5). Estas categorías ayudan a la población a entender el nivel de riesgo y a tomar las precauciones necesarias [17].

CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN	INTERVALO DE VALORES DEL IUV
BAJA	< 2
MODERADA	3 A 5
ALTA	6 A 7
MUY ALTA	8 A 10
EXTREMADAMENTE ALTA	11+

Figura 1.5: Categorías de exposición a la radiación ultravioleta.

1.3.1. Fórmula del índice UV

El IUV se calcula utilizando el espectro de acción de referencia para el eritema inducido por la radiación UV en la piel humana, según la norma ISO 17166:1999/CIE S 007/E-1998. La fórmula matemática que define el IUV es la siguiente:

$$IUV = k_{er} \cdot \int_{250 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot s(\lambda) d\lambda$$

donde:

- E_{λ} es la irradiancia espectral solar en $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$ a la longitud de onda λ .
- $s(\lambda)$ es el espectro de acción de referencia para el eritema.
- $d\lambda$ es el diferencial de longitud de onda.
- k_{er} es una constante de normalización con un valor de $40 \text{ m}^2/\text{W}$

El IUV es adimensional y se obtiene integrando la irradiancia espectral solar ponderada por el espectro de acción de referencia en el rango de longitudes de onda de 250 nm a 400 nm, multiplicado por el factor k_{er} . Este cálculo puede realizarse mediante mediciones directas con espectrorradiómetros o mediante modelos de transferencia radiativa que consideran factores como la concentración de ozono y las condiciones atmosféricas [17].

1.3.2. Aplicaciones del IUV

La información sobre el índice UV es útil para ayudar a las personas a evitar niveles excesivos de radiación UV [16], ya que este sirve como un mecanismo de alerta para que las personas adopten medidas de protección, como el uso de cremas solares, ropa protectora y gafas de sol. Pues gracias a este índice se puede alertar sobre las horas de mayor intensidad de radiación UV, que suelen ser entre las 10:00 y las 14:00 horas (Figura 1.4). El IUV se presenta en los medios de comunicación, como parte de los pronósticos meteorológicos, para informar sobre la intensidad máxima esperada de radiación UV en un día determinado. También es una herramienta clave en la planificación de políticas de salud pública (Figura 1.6). Su uso es igual en diferentes países, lo que permite una comunicación efectiva y coherente, lo que facilita el uso de medidas de protección solar y la reducción de los efectos adversos asociados a la exposición UV [17].

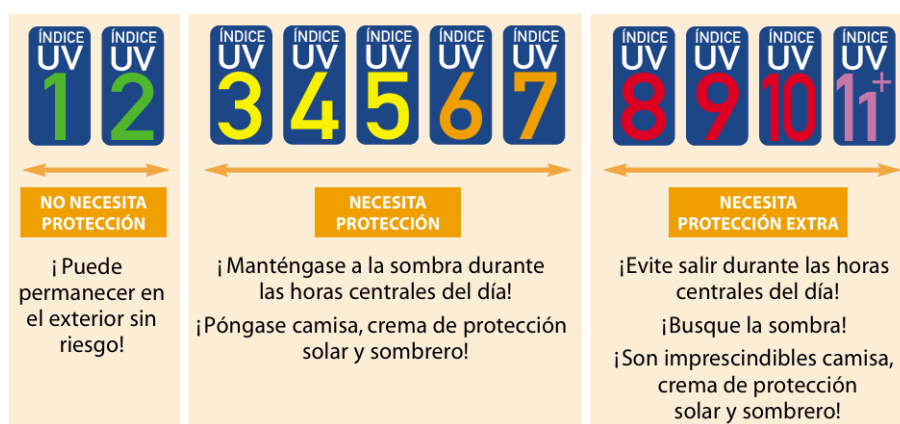


Figura 1.6: Índice UV con recomendaciones.

1.3.3. El índice UV en Ciudad de México

La Ciudad de México, debido a su ubicación geográfica y altitud, recibe una exposición significativa a la radiación solar durante todo el año. Su latitud y elevación sobre el nivel del mar la hacen susceptible a un incremento del 20 % en radiación UV en comparación con el nivel del mar. Para monitorear esta gran exposición, el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) implementó un programa continuo que evalúa los niveles de radiación UV, basado en el IUV de la Organización Mundial de la Salud. El SIMAT publica el Índice de Radiación Solar Ultravioleta (IUV) cada hora, con actualizaciones cada 10 minutos para informar sobre los valores máximos y promover medidas preventivas. La medición de la radiación UV la realizan mediante radiómetros, dispositivos especializados que captan la intensidad de la radiación incidente de manera proporcional; las estaciones que cuentan con estos dispositivos se observan en la Figura 1.7 [18].

1.4. Influencia de la radiación UV en la salud

Como sabemos, el espectro ultravioleta fue identificado por Johann Wilhelm Ritter en 1801. A pesar de que Ritter ya había fallecido, la creencia predominante era que el eritema solar era causado por el calor. No fue hasta 1820 cuando Everard Home logró demostrar que la radiación ultravioleta era la responsable de este efecto en la piel. La radiación UVB es mayormente absorbida en la epidermis, mientras que los rayos UVA, debido a su mayor longitud de onda, tienen la capacidad de penetrar más profundamente, alcanzando principalmente la dermis (Figura 1.8). Aproximadamente

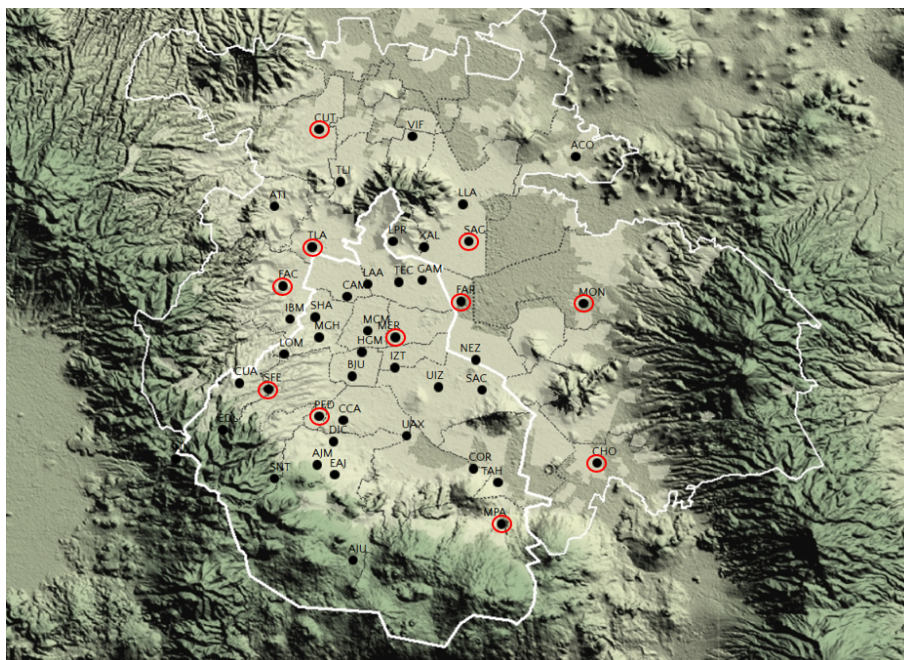


Figura 1.7: Mapa de la distribución de las estaciones, aquellas que están encerradas en círculo rojo, cuentan con mediciones del IUV.

el 80 % de los efectos de la radiación solar en la piel se atribuyen a los rayos UVB, y el 20 % restante a los UVA [6].

1.4.1. Los fototipos de piel de Fitzpatrick

La clasificación de los tipos de piel según su respuesta a la radiación ultravioleta fue propuesta por Thomas B. Fitzpatrick en 1975 para determinar la tolerancia de la piel blanca a la fototerapia con PUVA en pacientes con psoriasis. Inicialmente, se establecieron cuatro tipos basados en la tendencia a quemarse o broncearse tras una exposición solar moderada: los tipos I y II, asociados a piel clara con alta susceptibilidad a quemaduras y poca capacidad de bronceado, y los tipos III y IV, con menor propensión a quemaduras y mayor facilidad para desarrollar pigmentación. Posteriormente, Pathak y Fitzpatrick ampliaron esta clasificación para incluir pieles marrones y negras, añadiendo los tipos V y VI, que presentan mayor resistencia a las quemaduras y una marcada capacidad de bronceado. A pesar de la variabilidad individual dentro de cada grupo, este sistema se ha convertido en una herramienta fundamental en dermatología para evaluar la sensibilidad cutánea y estimar el riesgo que pueda ocasionar la exposición prolongada en nuestra salud (Figura 1.9) [19]. Se han hecho estudios acerca del funcionamiento de esta clasificación y se han obtenido resultados acertados, en donde la escala de fototipos de Fitzpatrick, después de un proceso de estandarización, muestra ser confiable, reproducible y consistente a lo largo del tiempo [20].

1.4.2. Beneficios de la radiación UV

Si bien la radiación ultravioleta puede producir eritema en la piel que usualmente se asocia como perjudicial a largo plazo, no todo en la radiación UV es malo, pues esta trae consigo algunos beneficios.

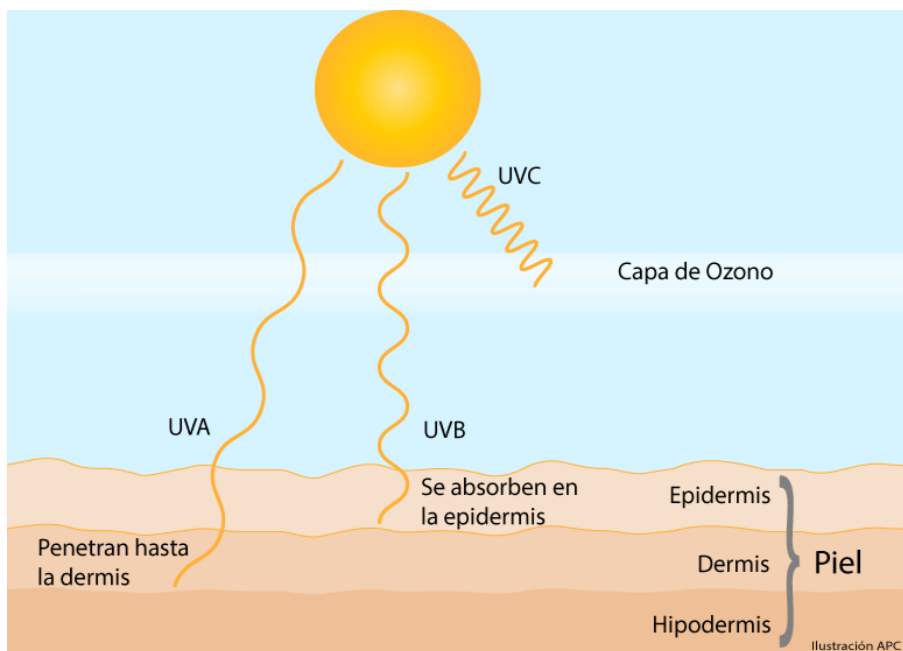


Figura 1.8: Penetración de la radiación UVA y UVB en la piel.

La radiación ultravioleta, especialmente la UVB, desempeña un papel beneficioso al estimular la síntesis de vitamina D en el organismo. Esta vitamina es esencial para facilitar la absorción de calcio y fósforo provenientes de los alimentos, además de ser crucial para el desarrollo óseo, el funcionamiento del sistema inmunológico y la producción de células sanguíneas [21]. Asimismo, la radiación UV se emplea en el tratamiento de diversas afecciones dermatológicas, como la psoriasis, donde ha demostrado ser efectiva [22]. Además, su capacidad para modular el sistema inmunitario cutáneo ha abierto nuevas posibilidades terapéuticas en enfermedades como la dermatitis atópica [23]. Y no solo eso, pues la radiación UV también se ha utilizado para tratar diversas enfermedades, como el raquitismo y el eczema [17]. Sin embargo, es importante resaltar que estos tratamientos se deben realizar bajo supervisión médica especializada, ya que los riesgos asociados a la exposición a la radiación UV frente a sus beneficios continúan siendo objeto de investigación científica [24].

1.4.3. Perjuicios de la radiación UV

Efectos en los ojos

La exposición a la radiación ultravioleta puede provocar efectos tanto agudos como crónicos en los ojos. Entre los efectos agudos se encuentran la fotoqueratitis y la fotoconjuntivitis, afecciones dolorosas pero reversibles que pueden prevenirse con el uso de gafas protectoras. A largo plazo, la exposición acumulativa al UV puede contribuir al desarrollo de cataratas, pterigio y cáncer ocular, estimándose que aproximadamente el 10% de los 15 millones de casos de ceguera por cataratas en el mundo podrían estar relacionados con esta radiación [11]. Además, los rayos UVA y UVB penetran a diferentes profundidades en el ojo, siendo los niños particularmente vulnerables debido a la mayor transmitancia de los rayos UVA en sus ojos en comparación con los adultos [21].

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 1.9: Tonos de piel y su propensión a quemaduras.

Efectos en el sistema inmunitario

La radiación UVB, en particular, puede causar inmunosupresión, alterando la respuesta inmune y reduciendo la capacidad del cuerpo para combatir enfermedades [21].

Efectos en la piel

La exposición a la radiación ultravioleta tiene efectos tanto agudos como crónicos en la piel. A corto plazo, puede causar daños en el ADN, quemaduras solares, reacciones fototóxicas y fotoalérgicas, además de inducir inmunodepresión, lo que puede reactivar infecciones virales como el herpes labial. A largo plazo, produce el envejecimiento prematuro de la piel, el desarrollo de carcinoma epidermoide, carcinoma basocelular y en peores casos el melanoma cutáneo [11]. Los rayos UVA, al penetrar profundamente en la piel, contribuyen a la pérdida de elasticidad y al envejecimiento prematuro, mientras que los UVB, aunque son clave en la producción de vitamina D, son la principal causa de quemaduras solares y aumentan significativamente el riesgo de cáncer de piel [21].

La radiación ultravioleta tiene efectos perjudiciales significativos en la piel y los ojos, incluyendo fotoenvejecimiento, cáncer cutáneo y alteraciones oculares como cataratas y queratitis. Estos daños, derivados de mecanismos como el estrés oxidativo y la inflamación crónica, representan un desafío para la salud pública. La prevención, mediante el uso de protectores solares, gafas con filtro UV y la limitación de la exposición solar, es esencial. Un enfoque integral que combine medidas individuales, campañas educativas y políticas públicas puede reducir significativamente el impacto de la radiación UV en la salud global [25].

1.5. Melanoma

El melanoma es un tipo de cáncer de piel que se origina en los melanocitos (Figura 1.10); las células responsables de la pigmentación cutánea. Aunque suele presentarse como manchas oscuras o marrones, algunos melanomas carecen de melanina y pueden ser rosados, pálidos o blancos. Este cáncer puede desarrollarse en cualquier parte de la piel, siendo más común en el tronco en hombres y en las piernas en mujeres, así como en el cuello y el rostro [26].

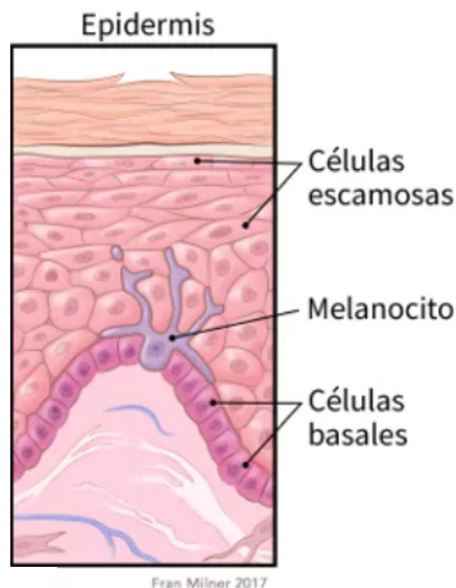


Figura 1.10: Células en la epidermis.

A pesar de ser el tipo menos frecuente de cáncer de piel, el melanoma maligno es el más agresivo y responsable de la mayoría de las muertes por esta enfermedad. Puede aparecer como un lunar nuevo o una lesión preexistente con cambios en color, forma o tamaño, y suele tener bordes irregulares y tonalidades desiguales [21]. La edad promedio en las personas que padecen de melanoma es de 45 años [27].

1.5.1. Influencia de la radiación UVB en el melanoma

El riesgo de desarrollar melanoma está directamente relacionado con la exposición solar intensa [28]. Específicamente, la radiación UVB desempeña un papel fundamental como factor principal en la aparición de este cáncer de piel, pues investigaciones realizadas tanto en modelos animales [29], como en estudios poblacionales [30] y en evidencia molecular [31], sugieren que la radiación UVB desempeña un papel importante en el desarrollo del melanoma.

1.5.2. Tipo histológico del melanoma

Melanoma maligno de extensión superficial

El melanoma de extensión superficial se caracteriza por un crecimiento inicial lento, que puede durar meses o años. Durante esta fase, las células malignas se limitan a la epidermis o a la dermis superficial. En la fase radial, pueden encontrarse pequeños grupos de células en la dermis. Sin embargo, en la fase avanzada, los melanocitos malignos invaden capas más profundas de la dermis [27]. Es el tipo más común, representando el 70 % de los casos en personas blancas. Suele afectar

a adultos y aparece con mayor frecuencia en la parte superior de la espalda en ambos sexos y en las piernas de las mujeres (Figura 1.11) [32].

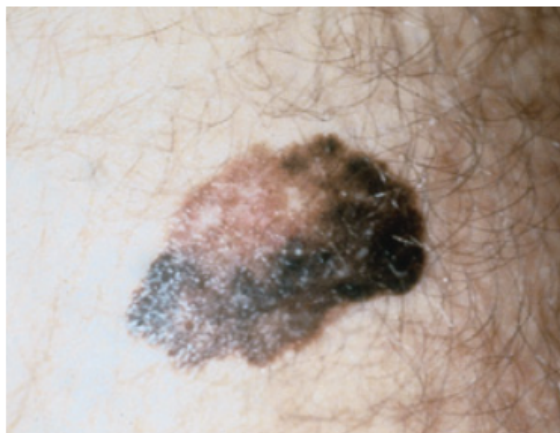


Figura 1.11: Visualización del melanoma maligno de extensión superficial

Melanoma lentigo maligno

El melanoma lentigo maligno es un tipo raro que se origina de un lentigo maligno no tratado, el cual suele crecer horizontalmente durante años, afectando solo la epidermis. Con el tiempo, si no se trata, este lentigo maligno puede evolucionar a una fase vertical, invadiendo la dermis y convirtiéndose en melanoma. Durante la fase de crecimiento vertical, las células malignas suelen ser de forma alargada y delgada y a menudo invaden la dermis reticular (Figura 1.12) [27, 32].



Figura 1.12: Visualización del melanoma lentigo maligno.

Melanoma lentiginoso acral

El melanoma lentiginoso acral es un tipo de melanoma que aparece en las palmas de las manos, las plantas de los pies, los dedos y las áreas subungueales [27]. Este tipo representa entre el 2 % y

el 8% de todos los melanomas y a diferencia de otros tipos, su incidencia es similar en todos los grupos étnicos (Figura 1.13) [32].



Figura 1.13: Visualización del melanoma lentigo acral.

Melanoma maligno nodular

El melanoma nodular (NM) representa entre el 15% y el 30% de todos los melanomas y es responsable de aproximadamente un tercio de los casos en la población caucásica. A diferencia de otros subtipos, carece de una fase de crecimiento horizontal y, desde el inicio, invade las capas profundas de la piel. Se manifiesta como una lesión en forma de cúpula, pedunculada o nodular, generalmente de color marrón oscuro o marrón rojizo, como se ve en la Figura 1.14, aunque en algunos casos puede ser amelanótico. Debido a su apariencia, suele confundirse con ampollas de sangre, hemangiomas, nevos dérmicos o pólipos [27, 32].

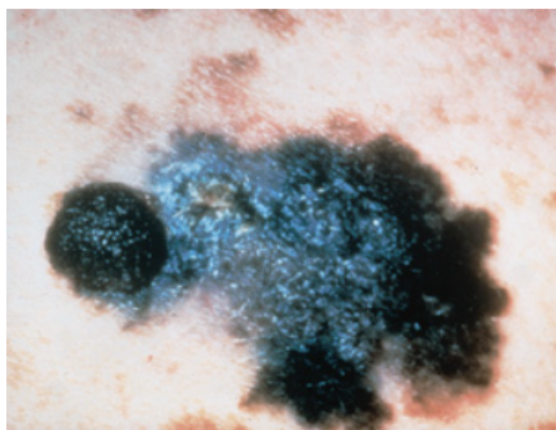


Figura 1.14: Visualización del melanoma maligno nodular.

1.5.3. Estadificación del melanoma

Tras el diagnóstico de melanoma, es fundamental determinar si el cáncer se ha diseminado y hasta qué punto; este proceso de determinación es conocido como estadificación. El melanoma se clasifica en etapas, comenzando con el estadio 0 (melanoma *in situ*) la forma más temprana de melanoma, donde las células cancerosas están confinadas a la capa más superficial de la piel (epidermis) y no han invadido capas más profundas, y progresando desde la etapa I hasta la IV. Cada etapa puede subdividirse en categorías adicionales (A, B, C), donde un número o letra menor indica una menor progresión de la enfermedad, como se muestra y detalla en la Tabla 1.2. En términos generales, los melanomas en etapas avanzadas presentan una mayor propagación y un pronóstico más reservado. El sistema más utilizado para la estadificación del melanoma es el TNM, establecido por el American Joint Committee on Cancer (AJCC). Este sistema se basa en tres factores principales: el tamaño y extensión del tumor primario (T), la propagación de ganglios (nódulos) linfáticos cercanos (N) y la presencia de metástasis en órganos distantes (M). Si bien la experiencia del cáncer de cada persona es única, los cánceres con etapas similares suelen tener un pronóstico similar, y a menudo son tratados de manera similar [33].

Estadio	Clasificación TNM	Descripción de nomenclatura nueva en la clasificación
Etapa I	IA (T1aN0M0)	T1a: Tumor de ≤ 1.0 mm de grosor, sin ulceración y con tasa mitótica $< 1/\text{mm}^2$. N0: Sin metástasis en ganglios linfáticos regionales. M0: Sin metástasis distantes.
	IB (T1bN0M0, T2aN0M0)	T1b: Tumor de ≤ 1.0 mm de grosor, con ulceración o tasa mitótica $\geq 1/\text{mm}^2$. T2a: Tumor de 1.01-2.00 mm de grosor, sin ulceración.
Etapa II	IIA (T2bN0M0, T3aN0M0)	T2b: Tumor de 1.01-2.00 mm de grosor, con ulceración. T3a: Tumor de 2.01-4.00 mm de grosor, sin ulceración.
	IIB (T3bN0M0, T4aN0M0)	T3b: Tumor de 2.01-4.00 mm de grosor, con ulceración. T4a: Tumor de > 4.00 mm de grosor, sin ulceración.
Etapa III	IIC (T4bN0M0)	T4b: Tumor de > 4.00 mm de grosor, con ulceración.
	IIIA (T1-4aN1aM0, T1-4aN2aM0)	T1-4a: Tumor de cualquier grosor, sin ulceración. N1a: 1 ganglio linfático con micrometástasis. N2a: 2-3 ganglios linfáticos con micrometástasis.
	IIIB (T1-4bN1aM0, T1-4bN2aM0, T1-4aN1bM0, T1-4aN2bM0, T1-4aN2cM0)	T1-4b: Tumor de cualquier grosor, con ulceración. N1b: 1 ganglio linfático con macrometástasis. N2b: 2-3 ganglios linfáticos con macrometástasis. N2c: Metástasis en tránsito/satélites sin ganglios linfáticos metastásicos.
	IIIC (T1-4bN1bM0, T1-4bN2bM0, T1-4bN2cM0, cualquier TN3M0)	N3: 4 o más ganglios linfáticos metastásicos, ganglios linfáticos fusionados, o metástasis en tránsito/satélites con ganglios linfáticos metastásicos.
Etapa IV	M1a	M1a: Metástasis en piel, tejido subcutáneo o ganglios linfáticos distantes. LDH normal.
	M1b	M1b: Metástasis pulmonares. LDH normal.
	M1c	M1c: Metástasis en otros sitios viscerales (no pulmonares). LDH elevado.

Tabla 1.2: Clasificación TNM y descripción de las etapas del melanoma.

1.5.4. Tasa de supervivencia del melanoma

La etapa del melanoma proporciona un marco de referencia para analizar las tasas de supervivencia. Esta se refiere al porcentaje de pacientes que sobreviven un período específico de tiempo, por ejemplo, 1, 5 o 10 años, después del diagnóstico o tratamiento del melanoma. La tasa de supervivencia es un indicador clave del pronóstico de la enfermedad y se utiliza para evaluar la efectividad de los tratamientos y la gravedad del cáncer en diferentes etapas. En el contexto del melanoma, las tasas de supervivencia varían según la etapa del cáncer, el grosor del tumor, la presencia de ulceración, la tasa mitótica y la extensión de las metástasis [33]. El porcentaje de la tasa de supervivencia se presenta en la Tabla 1.3, donde los guiones (-) indican que no se proporciona información en el artículo para ese período de tiempo.

Estadio	Clasificación TNM	1 año (%)	5 años (%)	10 años (%)
I	IA	-	97	93
	IB	-	92	85
II	IIA	-	79	64
	IIB	-	64	50
	IIC	-	53	39
III	IIIA	-	78	-
	IIIB	-	59	-
	IIIC	-	40	-
IV	M1a	62	-	-
	M1b	53	-	-
	M1c	33	-	-

Tabla 1.3: Tasas de Supervivencia por Estadio y clasificación del Melanoma.

1.5.5. Regla del ABCDE

La regla ABCDE es un método utilizado para evaluar lunares o lesiones en la piel y determinar si pueden ser sospechosas de melanoma. Esta regla es muy importante debido a que su detección temprana permite un tratamiento oportuno, al ser un cáncer agresivo y con alto nivel de mortalidad. Cada letra representa una característica que se debe observar en una lesión cutánea.

- **A - Apariencia y Asimetría:** Una mitad del lunar es diferente a la otra mitad.
- **B - Bordes:** Los bordes son irregulares, borrosos o mal definidos.
- **C - Color:** Color anormal o una distribución irregular de color.
- **D - Diámetro:** Tiene un diámetro mayor a 6 mm (aproximadamente el tamaño de una goma de borrar de lápiz).
- **E - Evolución:** Cualquier cambio en tamaño, forma, color o síntomas como picazón o sangrado.

Si una persona detecta una lesión con una o más de estas características, se recomienda acudir a un dermatólogo para una evaluación profesional [34].

Capítulo 2

Estado del arte

Si bien el estudio por la radiación solar ha sido de gran interés científico desde la época de Newton, se destacó la importancia del estudio por la radiación ultravioleta, esto debido a las investigaciones realizadas en los efectos biológicos que produce esta radiación, llevando así a la necesidad de clasificarla en UVA, UVB y UVC (I y II) [6]. La radiación UVC no llega a la superficie de la tierra, mientras que el 90 % de la UVB es absorbida, siendo mayor la radiación UVA, si bien solo recibimos aproximadamente el 5 % de la radiación UV [8], esta es suficiente para causar daños en la piel, hasta el punto de causar cáncer de piel, incluido el melanoma [11]. Por ende, se han seguido realizando diversos estudios en distintas partes del mundo acerca de cómo la radiación UV (y en algunos, específicamente la UVB) se correlaciona con el melanoma. Los resultados entre esos artículos apuntan en la misma dirección en la correlación entre la radiación UV y su influencia y relación con el melanoma.

Las investigaciones poblacionales, comenzaron identificando la relación entre la exposición solar con el melanoma utilizando el Riesgo Atribuible Poblacional (PAF, por sus siglas en inglés). De ahí, se ha observado que hay una mayor incidencia de melanoma en personas que viven en áreas con mayor exposición solar. También se resalta la gran diferencia que existe en Estados Unidos en la incidencia del melanoma entre personas negras y blancas, siendo muy superior en blancas, estimando que entre el 68 % y el 97 % de los melanomas en poblaciones blancas son atribuibles al exceso de exposición solar [28]. Mientras que globalmente se encontró que en 2012, 168,000 nuevos casos de melanoma, es decir, el 75.7 % del total global, fue atribuible al exceso de exposición de radiación UV, representando el 1.2 % de todos los cánceres [36].

Por otro lado se han realizado experimentos en ratones transgénicos, observando que al exponer radiación UVB al modelo de ratón transgénico HGF/SF (que reproduce fielmente las etapas del melanoma humano) indujo melanoma, mientras que al exponerlo con UVA este no lo indujo, incluso en dosis relevantes [29]. En un estudio posterior, con un modelo de ratón transgénico HGF-CDK4(R24C) (que desarrolla melanomas espontáneamente), se observó que la exposición a la radiación UV en ratones con melanomas ya establecidos promovió metástasis pulmonares y angiotropismo [35].

Otras investigaciones poblacionales comenzaron a centrarse en la correlación entre la radiación UVB y el melanoma, donde se observó que la exposición solar recreativa (actividades que usualmente se hacen en las horas donde más se recibe radiación UVB) se relaciona con un mayor riesgo de melanoma; este efecto fue más claro en latitudes al norte, donde las actividades como ir a la playa aportaban hasta 100 MED (casi el doble de lo que recibe un trabajador de interiores al año) en cierto período [30]. En otro artículo se resalta la correlación que hay entre la radiación UVB, la altitud y la prevalencia en el melanoma, donde se encontró que la prevalencia del melanoma tiende a aumentar con la altitud, provocada por un mayor valor de dosis eritemática debido a la menor absorción atmosférica de la radiación UVB a mayores elevaciones [37].

Algunas investigaciones que han trabajado con la tasa de mortalidad del melanoma y con la

radiación ultravioleta, en principio no eran claras respecto a si la exposición solar era beneficiosa o perjudicial a la mortalidad por melanoma, pues estudios analíticos que evaluaron la mortalidad en relación con la exposición a la radiación UV previa al diagnóstico obtuvieron resultados dispares [38], sin embargo, en estudios posteriores se observó que la exposición a la radiación UV no genera ningún tipo de protección a la mortalidad por melanoma e incluso una alta exposición de esta radiación puede aumentar el riesgo de mortalidad [39], resultado que coincide con el experimento realizado en el ratón transgénico hecho en [35].

Estos artículos muestran aquellos trabajos que han abordado la radiación UV junto con el melanoma, mostrando resultados importantes. Empero, no se encontró estudio alguno que realice lo mismo en México, ni mucho menos en Ciudad de México; usualmente los trabajos abarcan únicamente uno u otro tema, pero no ambos. Esto es preocupante, pues se ha encontrado que la Ciudad de México es la región con la dosis anual más alta de radiación UV en México [40], además de que en 2016 hubo 92 defunciones por melanoma, siendo la región con la mayor cantidad de defunciones por melanoma en México en ese año [1].

2.1. Hipótesis

Con los datos del IUVB de la Ciudad de México será posible observar la distribución y tendencia de los datos, y así realizar una correlación del IUVB con la tasa de mortalidad del melanoma para determinar rezagos temporales.

2.2. Objetivo general

Realizar un análisis de datos para el IUVB en la Ciudad de México de los años 2000 a 2022 y aplicar una correlación con la tasa de mortalidad del melanoma para determinar el rezago existente.

2.3. Objetivos específicos

1. Analizar mensualmente los datos del IUVB en la Ciudad de México para valores totales.
2. Analizar el IUVB para valores mayores o iguales a 8 de cada mes.
3. Determinar el porcentaje de entradas mayores e iguales a 8 que hubo en cada mes.
4. Obtener el valor máximo de incidencia del IUVB por mes.
5. Registrar el valor de la media de los valores totales del IUVB.
6. Promediar los valores de cada análisis y registro por año y observar su distribución.
7. Aplicar la correlación que mejor se ajuste a la distribución de los datos anuales de los análisis con la tasa de mortalidad del melanoma y determinar un rezago temporal.

Capítulo 3

Metodología

A continuación, se describen los pasos metodológicos seguidos en este trabajo.

3.1. Adquisición y distribución de los datos

1. **Obtención de datos:** Se obtuvieron los datos de radiación UVB de cinco estaciones de monitoreo en la Ciudad de México que se muestran en el listado.

- Merced (MER)
- Tlalnepantla (TLA)
- San Agustín (SAG)
- Pedregal (PED)
- Montecillo (MON)

Estos datos se rescataron en la página de la Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA) [41]. Los datos abarcan desde el año 2000 hasta 2022, excluyendo el año 2019, no se sabe con exactitud la razón de la falta de datos de ese año.

2. **Entendimiento de la distribución y estructura de los datos:** Los datos se encuentran en archivos con formato `.xls`, divididos en dos categorías: años bisiestos y no bisiestos. Los datos vienen en columnas, la primera columna representa el día del año como 1-365 o 1-366 si es bisiesto, la segunda columna es la hora que va de 1-24, la tercera columna es para la radiación UVA y la cuarta para la radiación UVB, posteriores a la tercera y cuarta columna se vuelve a tomar el valor cada dos columnas, pues las dos columnas son los valores de la radiación UVA y UVB por año, siendo primero la radiación UVA y posterior la UVB. Los valores de -99 representan la falta de datos, esto para evitar confusión con horas en que no hubo entradas, pero sí datos que marcan 0 entradas.

3.2. Cálculo del umbral del IUVB

Con ayuda del manual que se encuentra en la página de SEDEMA [41], se convirtieron las mediciones de $\frac{MED}{HORA}$ a índice UVB (IUVB) mediante la multiplicación por un factor de 2.332. El manual menciona que este factor surge de:

- **40 (m^2/W):** constante de conversión normalización (k_{er}).
- **0.0583:** Este valor representa la irradiancia eritémica efectiva necesaria durante una hora para alcanzar 1 MED.

La fórmula para calcular el factor de conversión es:

$$k = 40 \frac{m^2}{W} \times 0,0583 \frac{W}{m^2} = 2,332 \frac{h}{MED}$$

Así para convertir los datos de UVB ($\frac{MED}{h}$) a IUVB, se multiplica cada valor por el factor de conversión **2.332**:

$$IUVB = UVB(\frac{MED}{h}) \times 2,332(\frac{h}{MED})$$

3.3. Análisis para la caracterización del índice UVB (IUVB)

Se utilizó el sistema operativo Ubuntu 22.04 y el software ROOT para el análisis.

1. **Generación del código para la obtención de entradas y valores del IUVB:** Se generaron códigos para la obtención de histogramas con las entradas totales del IUVB y su respectivo valor. Este proceso se realizó de igual manera para las entradas con valores mayores o iguales a 8.
2. **Cálculo de porcentajes y promedios, y elaboración de gráficas:** Como primera aproximación se calculó el porcentaje de incidencia de valores del IUVB mayores o iguales a 8 para cada mes, sumando así los porcentajes de cada mes y dividirlo entre 12 obteniendo una aproximación por año. Posteriormente, se promediaron los resultados año con año de las cinco estaciones para obtener tendencias generales. Este proceso se realizó de igual manera para la media obteniendo así la media anual por estación y la general por las cinco estaciones. Generando gráficas por año de cada estación y una general por las cinco estaciones, donde el eje x representa los años y el eje y el porcentaje o la media.
3. **Valores máximos:** Se generó un código y se rescataron los valores máximos del IUVB por mes para cada estación, realizando así una gráfica cada 3 años para observar su distribución, donde el eje x representa los meses y el eje y el valor máximo registrado en ese mes.

3.4. Obtención de datos de la mortalidad por melanoma

1. **Recopilación de datos:** Se investigó la tasa de mortalidad por melanoma en la Ciudad de México desde el año 2000 hasta 2020, utilizando fuentes confiables como registros de salud pública.
2. **Preparación de datos:** Los datos rescatados se organizaron en una gráfica donde el eje x representa los años y el eje y la tasa de mortalidad.

3.5. Correlación entre el IUVB y la tasa de mortalidad por melanoma

1. **Selección del método de correlación:** Se evaluó la distribución de los datos para seleccionar el método de correlación más adecuado (Spearman, véase en el apéndice).
2. **Aplicación de la correlación:** Se aplicó la correlación entre los porcentajes de valores mayores o iguales a 8 y sus medias, con la tasa de mortalidad por melanoma, considerando rezagos temporales de 0 a 4 años. Para ello, se utilizó Python, empleando las bibliotecas `pandas`, `numpy` y `scipy.stats`.

3. **Análisis de rezagos temporales:** Se analizó cómo los cambios en la radiación UVB en un año específico podrían estar relacionados con la mortalidad por melanoma en años posteriores o en el mismo año.

Capítulo 4

Resultados

4.1. Datos Inexistentes del IUVB

Al realizar el análisis de datos para el IUVB, se observó la falta de datos para algunos meses y años. Se desconoce la razón por la que no se cuenta con esos datos.

Así para conocer los datos inexistentes, se enlistan las estaciones con los meses y años en que no se cuenta con entradas de datos. El guion (-) representa un continuo, por ejemplo, si se tiene enero-junio, quiere decir que no se contó con datos de enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio. Mientras que, si solo se presenta el año como 2017, significa que no se cuenta con datos de todo ese año.

Merced

- 2000: Marzo, octubre-diciembre.
- 2001: Enero, mayo-julio.
- 2003: Junio-septiembre.
- 2005: Agosto-diciembre
- 2006: Enero-marzo.
- 2007: Septiembre-diciembre.
- 2008
- 2009: Enero-junio.
- 2010: Marzo-agosto.
- 2016: Julio-diciembre.
- 2017: Enero, febrero.
- 2018: Febrero, marzo.
- 2022: Julio, agosto.

Tlalnepantla

- 2000: Octubre-diciembre.
- 2001: Enero.
- 2003: Junio.
- 2009
- 2011: Diciembre.
- 2012: Enero.
- 2016: Mayo-diciembre.
- 2017: Enero, febrero.
- 2018
- 2020
- 2021
- 2022

San Agustín

- 2000: Enero-marzo, octubre-diciembre.
- 2001: Enero.
- 2003: Junio-octubre.
- 2007: Junio-octubre.
- 2008: Agosto-diciembre.
- 2009: Enero, abril-octubre.
- 2010: Noviembre
- 2011: Agosto-octubre.
- 2012
- 2013
- 2014: Enero-marzo.
- 2016: Julio-diciembre.
- 2017: Enero, febrero.
- 2018: Julio.
- 2020: Octubre-diciembre.
- 2021
- 2022: Enero.

Pedregal

- 2000: Febrero, marzo, octubre-diciembre.
- 2001: Enero-julio.
- 2003: Junio.
- 2007: Septiembre-diciembre.
- 2008
- 2009: Octubre-diciembre.
- 2010
- 2014: Junio-diciembre.
- 2015
- 2016: Enero-abril.

Montecillo

- 2000: Enero-marzo, agosto, septiembre.
- 2003: Junio, septiembre-diciembre.
- 2008: Enero, agosto-diciembre.
- 2009: Enero-abril, agosto-noviembre.
- 2011: Marzo-junio.
- 2013: Agosto-diciembre.
- 2014: Enero-marzo.
- 2015: Abril-diciembre.
- 2016: Enero-abril.
- 2021
- 2022: Enero-agosto.

4.2. Histogramas y extracción de datos

Para la recapitulación de las entradas totales y de la media general, se generaron histogramas mensuales donde el eje x representa el IUVB y su valor, y el eje y las entradas que hubo respecto a cada valor del IUVB. El histograma cuenta con las entradas totales (en promedio son 360 entradas, pues estas se detectan cada hora, obteniendo así 12 entradas promedio por día), la media y la desviación estándar, mostrando la distribución de datos; un ejemplo de los histogramas obtenidos se muestra en la Figura 4.1.

El mismo procedimiento se utilizó para la extracción de entradas del IUVB con un valor mayor o igual a 8, a diferencia del histograma de valores totales; en este histograma se muestran únicamente las entradas que hubo en cada mes y el valor del IUVB fue mayor o igual a 8. Un ejemplo de los histogramas obtenidos se observa en la figura 4.2.

Si bien los histogramas otorgan información valiosa, en total se obtuvieron 2,640 histogramas; así, para evitar una sobrecarga de imágenes en los resultados o apéndice, se decidió no incluirlos.

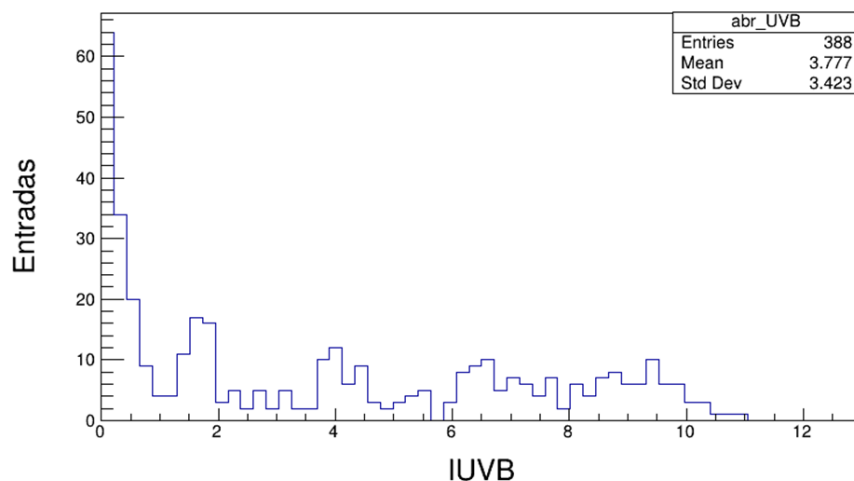


Figura 4.1: Histograma de entradas totales en la estación San Agustín en el mes de abril del año 2018.

4.3. Porcentaje de entradas del IUVB mayores o iguales a 8

A partir de las entradas de los histogramas de las Figuras 4.1 y 4.2. Se tomaron las entradas totales respecto a las entradas mayores o iguales a 8, obteniendo así el porcentaje de entradas que incidió y su valor fue mayor o igual a 8 en ese mes, en cada estación. Posteriormente, se sumó el valor del porcentaje de cada mes y se dividió entre 12 para obtener así una primera aproximación en la distribución del porcentaje anual. Estos porcentajes representan la frecuencia con la que el IUVB ha incidido en cada una de las cinco estaciones durante cada año y alcanzó o superó el umbral de 8, considerado como un nivel de exposición muy alto según las escalas de medición de radiación UVB. Esto permite observar la distribución del porcentaje de entradas de un nivel muy alto de radiación UVB en las gráficas que se presentan para cada estación, donde el eje x representa el año y el eje y el porcentaje de entradas mayores o iguales a 8.

Estación Merced

La distribución del porcentaje para la estación de la Merced se muestra en la gráfica de la Figura 4.3.

Se puede observar que la mayoría de los datos se encuentra entre 7 % y 11 %. Podemos observar que un valor baja a 0.17 %, este difiere mucho de los otros valores; sin embargo, es importante conservarlo, pues, pese a que de marzo a agosto no hubo datos, los demás meses se obtuvieron porcentajes del 0 % a excepción de septiembre.

Se nota que el punto máximo es en el año 2020 con un porcentaje de 16.45 %.

Estación Tlalnepantla

Ahora se presenta la gráfica (Figura 4.4), del porcentaje de valores mayores o iguales a 8 para la estación de Tlalnepantla.

Se observa que la mayoría de los valores se mantienen entre el 6 % y el 10 %. Además, se tiene que el valor mínimo se da en el año 2003, con un 5.87 %. Mientras que el valor máximo se da en el año 2017 con un valor de 12.96 %, en este año no se cuenta con datos de los meses enero y febrero, sin embargo, es un aumento muy significativo pese a la falta de entradas de esos 2 meses. Además, se nota que en el año 2018 sucede una disminución significativa en comparación con años

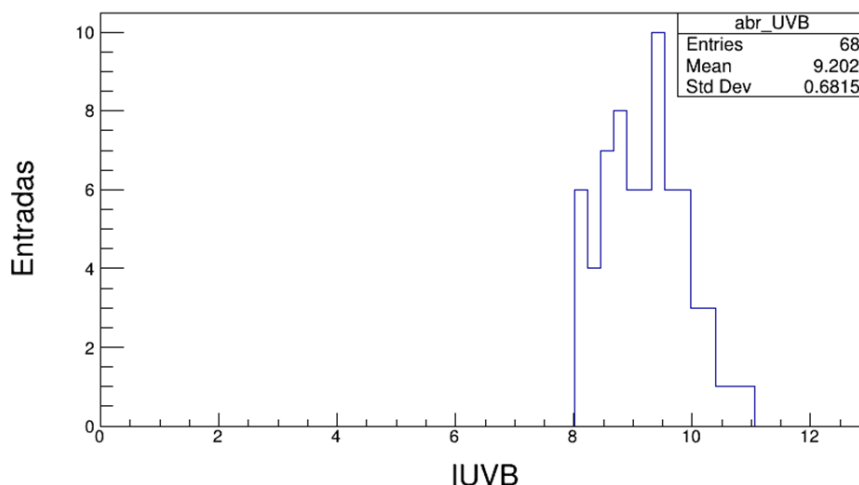


Figura 4.2: Histograma de entradas mayores o iguales a 8 en la estación San Agustín en el mes de abril del año 2018.

anteriores; esta disminución podría deberse a que se cuenta solo con entradas de enero hasta abril, sin embargo, se considera importante mantenerla, pues su valor está entre el 6 % y el 10 %, como en la mayoría de valores.

Estación San Agustín

Para la estación de San Agustín se obtuvo la gráfica de la Figura 4.5, donde se ve la distribución de porcentajes obtenidos.

En esta estación se puede ver que la mayor parte de los valores se encuentra entre el 8 % y el 14 %, teniendo su mínimo en el año 2009 de 5.54 %, esto puede ser debido a que no hubo datos en los meses de enero y de abril hasta octubre. Su valor máximo lo alcanza en el año 2020, obteniendo un valor muy alto de entradas mayores o iguales a 8, pues su porcentaje fue del 20.64 %. En 2020 no hubo datos de octubre a diciembre; sin embargo, notando valores de esos meses para años anteriores y haciendo la comparativa y cómo afectarían este año, el valor seguiría siendo muy alto.

Estación Pedregal

Para la gráfica de porcentajes en la estación de Pedregal, se observa la siguiente distribución de la Figura 4.6.

Se nota que la distribución del porcentaje en el transcurso de los años en PED no es tan homogénea. En 2003 el porcentaje de entradas mayores o iguales a 8 fue del 4.81 %, siendo únicamente junio el mes en que no se contó con datos. Se observa que el valor máximo lo alcanza en el año 2020 teniendo un 17.26 %.

Estación Montecillo

Por último, se tiene la distribución de datos de la estación de Montecillo, que se observa en la gráfica de la Figura 4.7.

En esta estación la distribución de datos es no homogénea, pues los datos varían año a año. El valor mínimo se encuentra en el año 2022, sin embargo, esto podría atribuirse al hecho de que no se cuentan con datos de enero a agosto. Por ende, observamos el valor de 2006, ya que este fue de

4.3 Porcentaje de entradas del IUVB mayores o iguales a 8

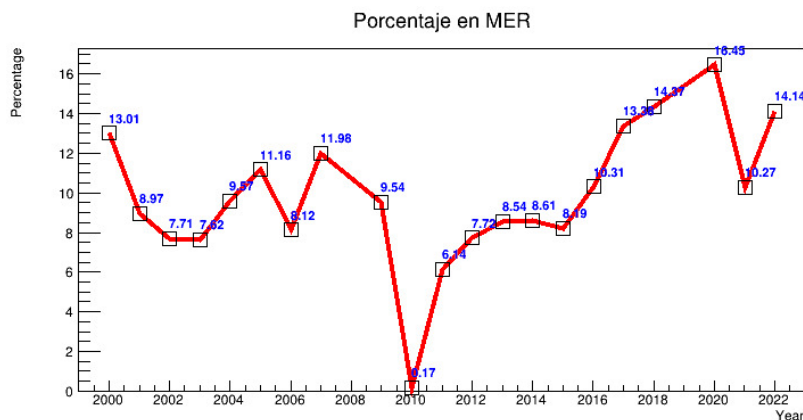


Figura 4.3: Porcentaje del IUVB de valores mayores o iguales a 8 que incidieron en la estación Merced por año.

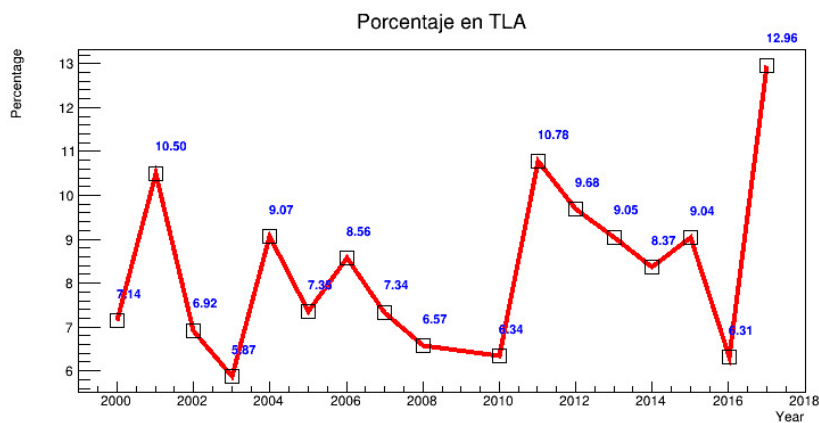


Figura 4.4: Porcentaje del IUVB de valores mayores o iguales a 8 que incidieron en la estación Tlalnepantla por año.

6.55 % y se cuenta con entradas de cada mes. Para el año 2018 se obtuvo un porcentaje de entradas mayores o iguales a 8 del 17.76 %, siendo este el valor máximo.

4.3.1. Superposición del porcentaje

Tenemos ahora una superposición (Figura 4.8) que se hace de las gráficas de cada estación, con el fin de comparar resultados en los porcentajes de entradas mayores o iguales a 8 que hubo en cada año.

De esta superposición se observa que para las estaciones de la Merced, Pedregal y San Agustín, se obtuvo el valor máximo del porcentaje de IUVB mayor o igual a 8 en 2020, además de que en Montecillo se obtuvo un porcentaje de 15.67 %, siendo un valor alto de igual manera. Se tiene, además, que el valor máximo de las 5 estaciones fue el de San Agustín, alcanzado en el año 2020.

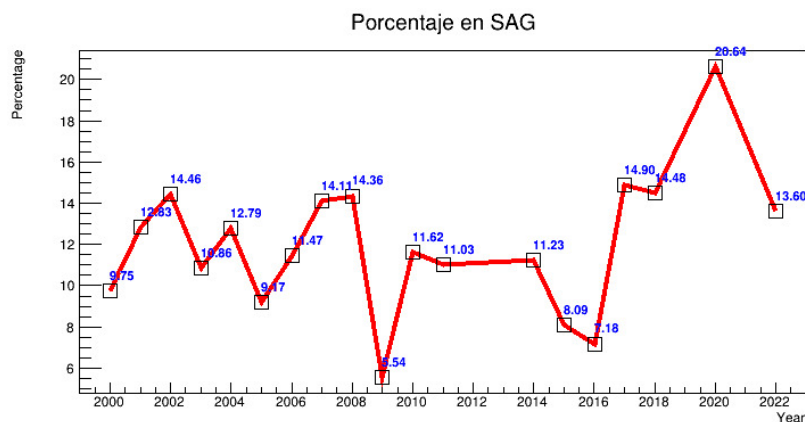


Figura 4.5: Porcentaje del IUVB de valores mayores o iguales a 8 que incidieron en la estación de San Agustín por año.

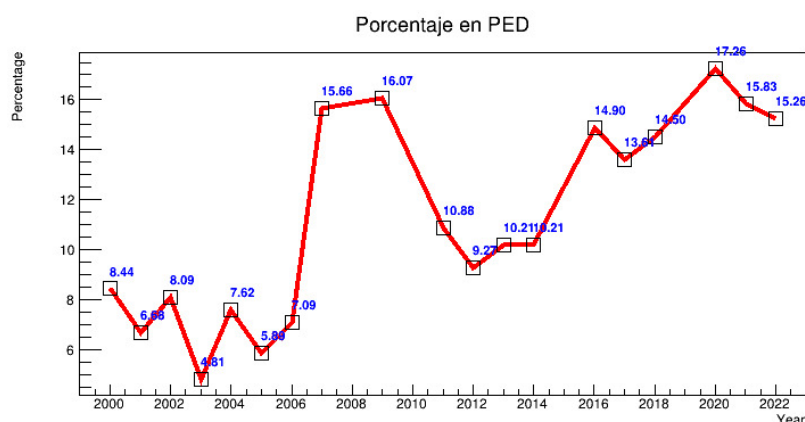


Figura 4.6: Porcentaje del IUVB de valores mayores o iguales a 8 que incidieron en la estación de Pedregal por año.

4.3.2. Porcentaje general

Para observar tendencias generales y la manera en que se distribuyen los datos, tomando en cuenta las 5 estaciones, se han promediado los porcentajes de cada año de las estaciones, es decir, 2000 con 2000, 2001 con 2001, etc. obteniendo así la gráfica de la Figura 4.9.

De esta gráfica se ve que el valor máximo se alcanza en el año 2020, con un valor de 17.51 %, siendo así el año en que hubo mayor radiación UVB con un índice de 8 o mayor. Mientras que el valor mínimo sucede en el año 2010.

4.4. Media de entradas del IUVB

Con los histogramas de entradas totales hechas en el análisis de datos para la caracterización del IUVB, como se observa en el histograma de la Figura 4.1, se rescató la media del IUVB de cada mes; este valor mensual se sumó y se dividió entre 12, obteniendo así una primera aproximación de la media anual. Y así observar su comportamiento, distribución y evolución temporal por año

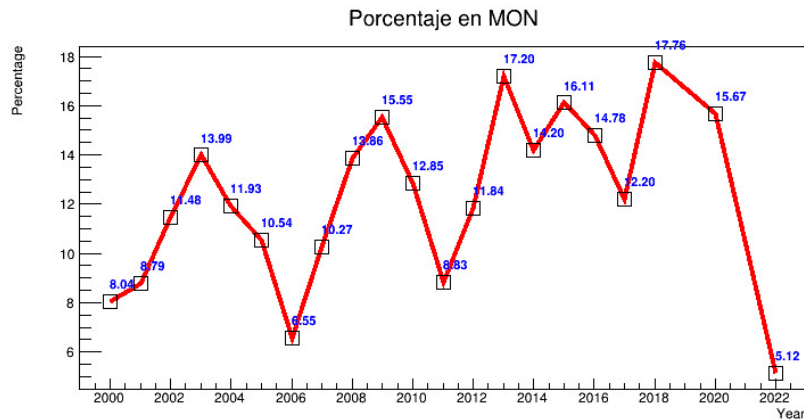


Figura 4.7: Porcentaje del IUVB de valores mayores o iguales a 8 que incidieron en la estación de Montecillo por año.

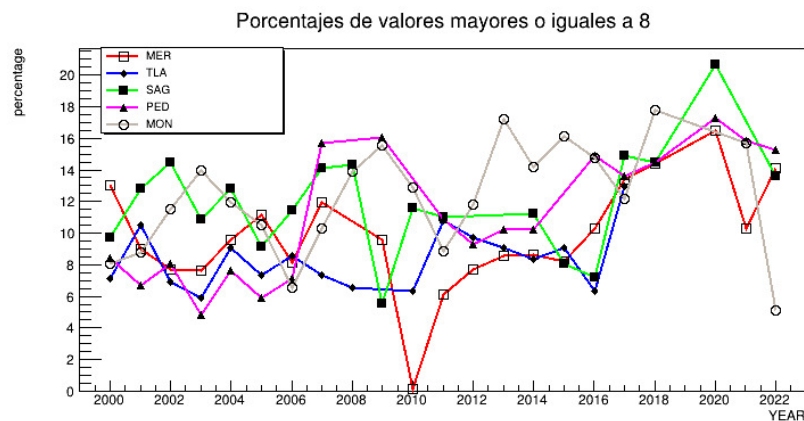


Figura 4.8: Superposición de porcentaje del IUVB de valores mayores o iguales a 8 que incidieron en cada estación.

para cada estación en las gráficas, donde el eje x representa los años y el eje y la media del IUVB que hubo en ese año.

Estación Merced

Se comenzó con la estación de Merced, obteniendo así la siguiente gráfica (Figura 4.10).

Se nota de la gráfica que el valor obtenido en el año 2010 fue el valor mínimo, siendo su media de 2.05 con una desviación estándar de 0.41. Mientras que su valor máximo fue para el 2017 con una media de 3.59 y desviación estándar de 0.59. Además, se observa que la media se encuentra entre los valores mayores de 2 y menores que 4 para todos los años.

Estación Tlalnepantla

Ahora se presenta la gráfica en la Figura 4.11 de la media anual en la estación de Tlalnepantla.

Podemos observar que para esta estación el valor mínimo en la media se da en el año 2000 con un valor de 2.80 y una desviación estándar de 0.83. Además, el valor máximo se observa en el 2017

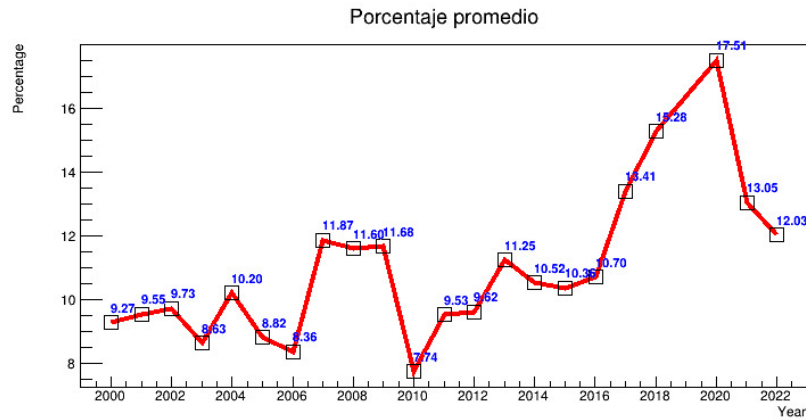


Figura 4.9: Promedio del porcentaje del IUVB mayores o iguales a 8 en las 5 estaciones.

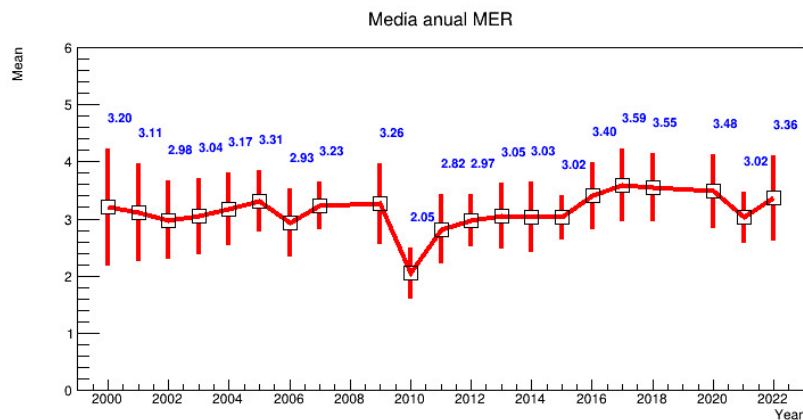


Figura 4.10: Media anual para la estación Merced con desviación estándar.

con un valor de 3.76 y una desviación estándar de 0.43. De igual manera, se puede notar que el valor de la media para todos los años se encuentra entre los valores mayores que 2 y menores que 4.

Estación San Agustín

Para la estación de San Agustín, la distribución de la media anual se muestra en la siguiente gráfica (Figura 4.12).

Se nota de la gráfica que el valor mínimo se da en el año 2015 con un valor de 2.95 y una desviación estándar de 0.47, mientras que el valor máximo se encuentra en el 2020 siendo la media de 3.96 y una desviación estándar de 0.59. Se observa, además, que los valores de la media a lo largo de los años se encuentran entre 2 y 4. Sin embargo, a partir del valor mínimo se puede notar que, para esta estación, los valores menores que 2 son mucho más cercanos a 3 que a 2.

Estación Pedregal

Ahora se muestra la distribución (Figura 4.13) de la media anual para la estación de Pedregal.

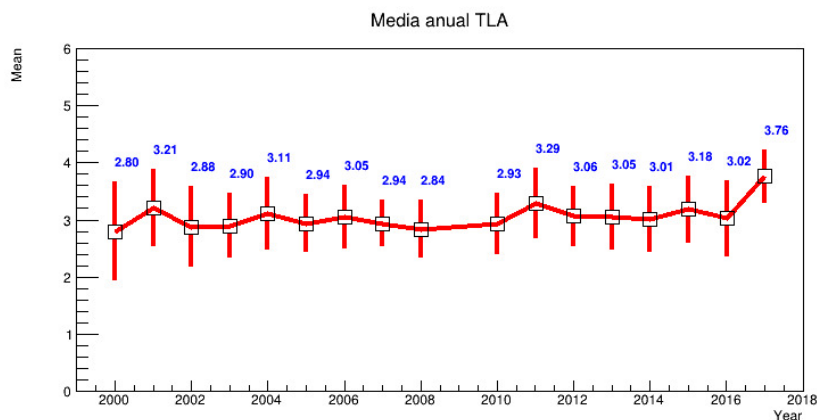


Figura 4.11: Media anual para la estación de Tlalnepantla con desviación estándar.

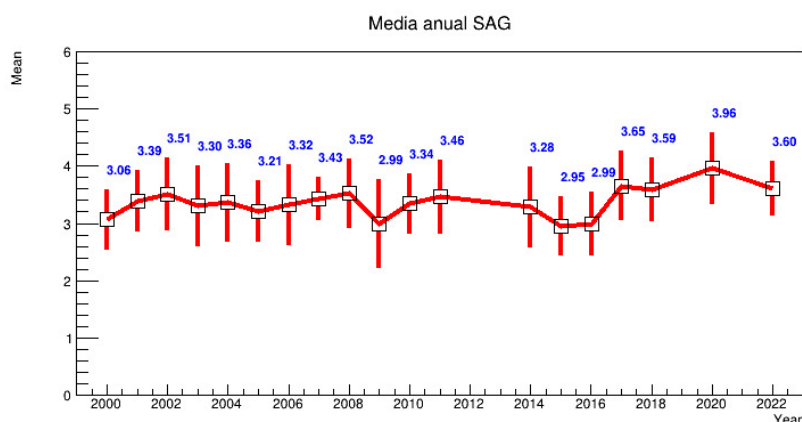


Figura 4.12: Media anual para la estación de San Agustín con desviación estándar.

De la gráfica se observa que el valor mínimo para esta estación es del año 2003, con un valor de 2.78 y una desviación estándar de 0.48, mientras que el valor máximo se da en 2017, con una media de 3.67 y una desviación estándar de 0.59. De igual manera, se puede observar que los valores de la media se encuentran entre los valores mayores que 2 y menores que 4, observando que los únicos cuatro valores menores que 3 fueron más cercanos al valor de 3 que a 2.

Estación Montecillo

Finalizando con las estaciones, se muestra la gráfica (Figura 4.14) de la distribución de la media que se obtuvo para la estación de Montecillo.

De la gráfica se puede ver que el valor mínimo se da en el año 2022, con una media de 2.82 y una desviación estándar de 0.48. Además, se observa que en 2018 se alcanza el valor máximo, con una media de 3.84 y una desviación estándar de 0.50. Para esta estación se puede notar que el único valor que es menor a 3 es el del año 2022, mientras que todos los demás valores se encuentran entre 3 y menores que 4.

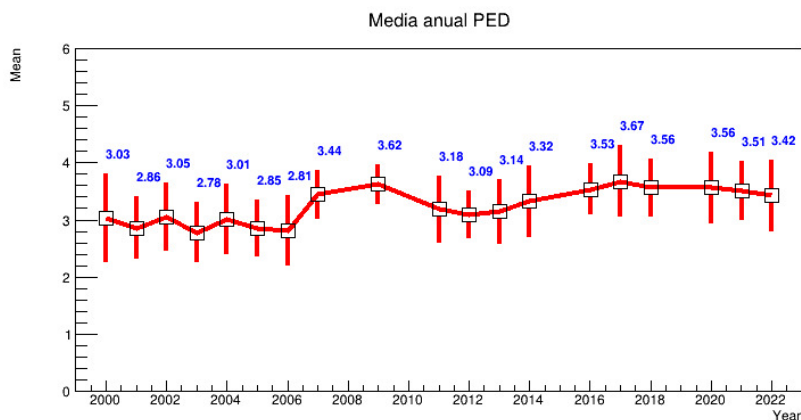


Figura 4.13: Media anual para la estación de Pedregal con desviación estándar.

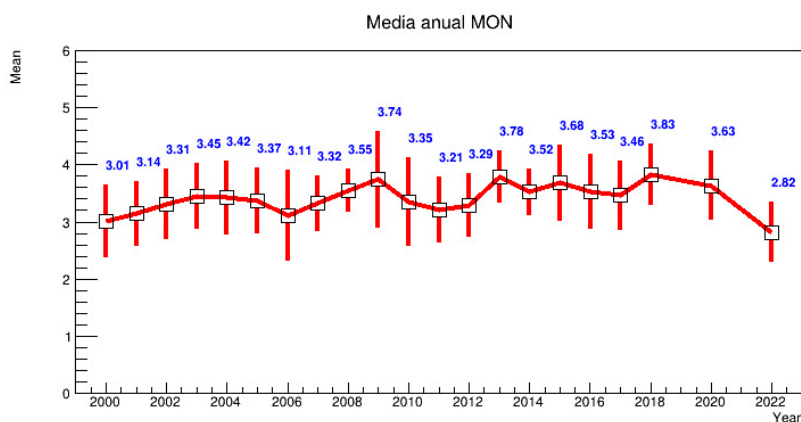


Figura 4.14: Media anual para la estación de Montecillo con desviación estándar.

4.4.1. Superposición de la media

Ya obtenidas las medias anuales de cada estación, se hizo la superposición del promedio de cada una; esta superposición se observa en la Figura 4.15.

Se puede notar que la distribución de la media es un tanto parecida a la del porcentaje, pues los aumentos y decrecimientos son similares, pero con valores menos oscilantes. Se puede observar que los valores máximos coinciden para el año 2017 en las estaciones de Merced, Tlalnepantla y Pedregal. Sin embargo, el valor máximo entre las 5 estaciones fue en 2020 en la estación de San Agustín. Por otro lado, en ninguna de las estaciones coincide el valor mínimo. De entre las 5 estaciones, el valor mínimo de la media se da en 2010 para la estación de la Merced.

4.4.2. Media general

Por último, se realizó un promedio con los valores de cada estación para obtener una media general y observar la distribución y evolución temporal que tuvo la media del IUVB tomando en cuenta las 5 estaciones. Esta distribución se observa en la Figura 4.16.

De la gráfica general para la media, se observa que en el año 2010, se alcanza el valor mínimo,

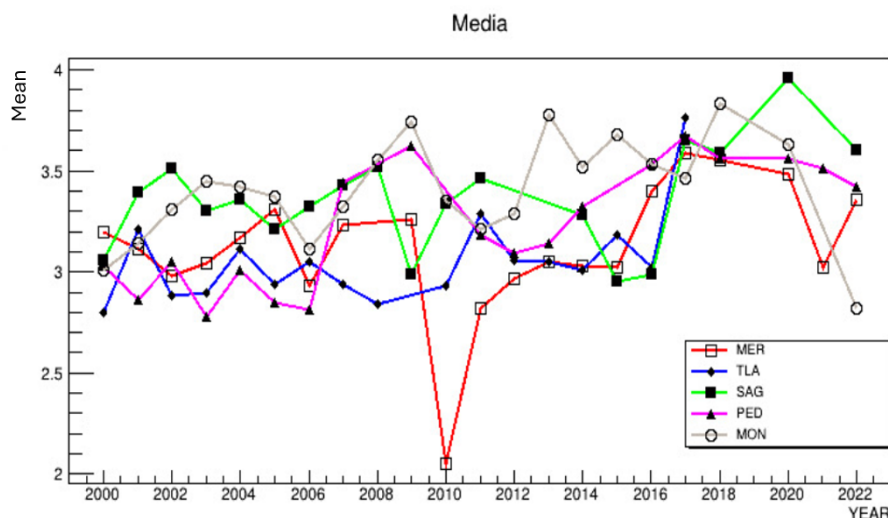


Figura 4.15: Superposición de la media en cada estación.

mientras que el valor máximo se da en el 2020, con un valor de 3.66. Se nota que los valores mínimos y máximos coinciden con los del porcentaje, cosa que bien no pudo haber sucedido, pues individualmente hubo valores máximos y mínimos que difrieron en las estaciones para la media y para el porcentaje. Además, aunque el porcentaje de entradas mayores o iguales a 8 pudo haber aumentado, también pudieron haberse registrado más entradas para valores menores a 8, generando así una diferencia en la media.

Es importante resaltar también que, pese a que se observa una distribución más uniforme para la media que en la de los porcentajes, un cambio en la media, aunque sea pequeño, es más significativo.

4.5. Valores máximos alcanzados del IUVB

En esta sección se presentan los valores máximos del IUVB alcanzados por mes; estos representan los picos de radiación UVB alcanzados en cada mes. El análisis de los valores máximos del IUVB proporciona información valiosa sobre la intensidad de la radiación en cada mes, en la gráfica el eje x representa los meses y el eje y el valor máximo alcanzado del IUVB en ese mes. Aunque los valores máximos no están directamente relacionados con la exposición prolongada al sol, su análisis proporciona información valiosa sobre la intensidad de la radiación UVB que se pudo obtener a partir de los datos obtenidos de las estaciones (véase en el apéndice B). Además, se presenta otra forma de abordar los datos, pues para el porcentaje y para la media se presentan de manera anual, mientras que para este caso se presentan de manera mensual. Algunos resultados de la estación Merced se muestran en la gráfica de la Figura 4.17.

En primer lugar, se puede observar que los datos se acercan a una distribución binomial, lo cual también ocurre con la media mensual (véase en el apéndice C). Se nota que los valores más altos se dan a partir de marzo hasta octubre. Para el año 2020, el valor de mayor intensidad en los valores máximos del IUVB se da en junio y julio con un valor de 12.89; este valor se repite para el año 2022, pero para mayo y junio, mientras que para el 2021 el valor de mayor intensidad se da en junio con un valor de 12.67. Los años con más valores mayores o iguales a 12 se dan en 2020, pues se obtienen valores de 12.24, 12.45, 12.89, 12.89, 12.67 para los meses de abril hasta agosto, respectivamente. En 2022 los valores fueron 12.67, 12.45, 12.89, 12.89 de marzo a junio, y 12.24

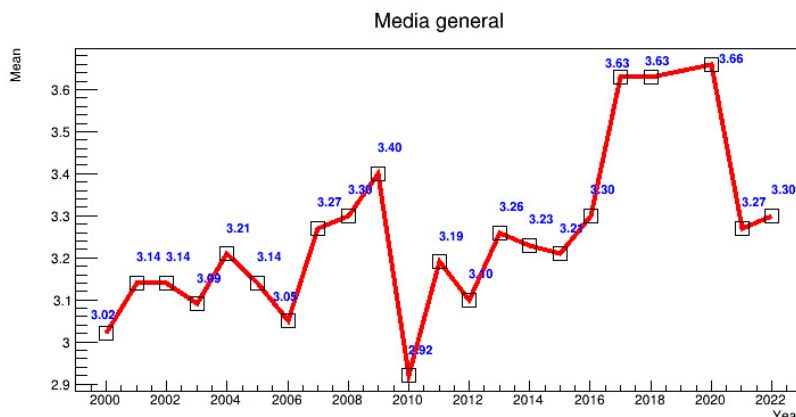


Figura 4.16: Media anual tomando en cuenta las 5 estaciones.

para septiembre, pero en este año no hubo datos para julio y agosto. Como en 2021 se obtuvieron valores de 11.15 para julio y agosto, no se puede asegurar si los meses faltantes para 2021 pudieron haber sido mayores o menores a 12. Por último, se tiene que los valores de menor intensidad del IUVB de estos máximos se dan en diciembre con valores de 7.90, 7.47, 7.90 para 2020, 2021 y 2022 respectivamente.

4.6. Tasa de Mortalidad del Melanoma en la Ciudad de México de los años 2000 a 2020

La tasa de mortalidad mide la frecuencia de muertes por una causa específica (en este caso, el melanoma) para una población determinada durante un período de tiempo específico. Es el número de muertes por cada 100,000 habitantes; para obtenerla, se divide el número de muertes por melanoma sobre la población total y se multiplica por 100,000.

Se rescataron los datos de *"Mortality Patterns of Melanoma in Mexico over the Last 2 Decades, Medical Research Archives"* [42] para la tasa de mortalidad que hubo en la Ciudad de México en los años 2000 a 2020; los datos se muestran en la gráfica de la Figura 4.18.

4.7. Correlación Aplicada

Observando la distribución y el número de datos del porcentaje y la media, se optó por aplicar la correlación de **Spearman** (véase en el apéndice A) como primera aproximación, ya que esta es la que mejor se ajusta y funciona para los datos generales obtenidos. Es importante resaltar que los datos de los máximos no se han tomado para la correlación debido a que el melanoma depende más de la exposición prolongada que de la adquirida de una sola entrada de un valor máximo.

4.7.1. Correlación del porcentaje general de entradas mayores o iguales a 8 del IUVB con la tasa de mortalidad

Al contar con los datos de la tasa del melanoma, se aplica la correlación de Spearman para el porcentaje, aplicando rezagos temporales de año en año, obteniendo así los valores que se presentan en la tabla 4.1.

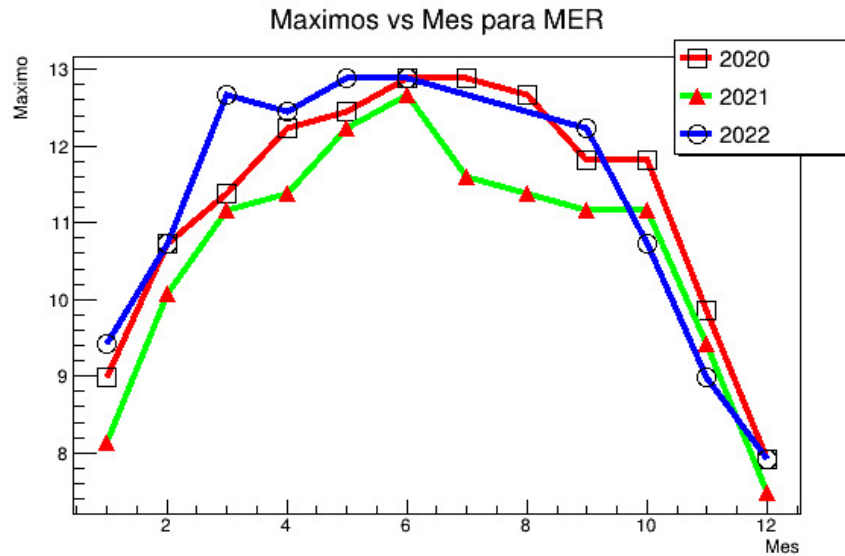


Figura 4.17: Valores máximos alcanzados en los años 2020 a 2022 en la estación Merced.

Rezago (Años)	Coefficiente de correlación ρ	p-valor
0	0.4520	0.0454
1	0.5704	0.0108
2	0.4801	0.0437
3	0.4697	0.0572
4	0.1236	0.6483

Tabla 4.1: Valores del coeficiente y el p-valor al aplicar la correlación con rezagos diferentes rezagos temporales para el porcentaje general.

Para observar la distribución y el comportamiento de los valores del coeficiente de correlación, se muestra la gráfica en la Figura 4.19.

Al realizar el análisis de correlación de Spearman entre el porcentaje de IUVB mayor o igual a 8 y la tasa de mortalidad por melanoma en la Ciudad de México, se consideraron diferentes rezagos temporales, desde 0 hasta 4 años, pues al observar la gráfica, notamos que el coeficiente disminuye de manera considerable; además, al considerar más años, el p-valor seguía en aumento y el coeficiente de correlación disminuía.

Los resultados muestran que la correlación es más fuerte con un rezago de 1 año con $\rho = 0.5704$ y $p = 0.0108$, lo que sugiere que los niveles elevados de IUVB podrían estar más estrechamente relacionados con la tasa de mortalidad del año siguiente. Este resultado es estadísticamente significativo, pues $p < 0.05$, lo que indica que es poco probable que la correlación observada se deba al azar.

Para rezagos de 0, 2 y 3 años, se observaron correlaciones moderadas (ρ entre 0.45 y 0.48), aunque con niveles de significancia variables (p entre 0.0437 y 0.0572), lo que sugiere una posible relación, pero con menor robustez estadística.

Por otro lado, para un rezago de 4 años, la correlación fue débil ya que $\rho = 0.1236$ y no significativa, pues $p = 0.6483$, indicando que el impacto de la exposición a altos niveles de IUVB sobre la tasa de mortalidad no parece mantenerse a largo plazo.

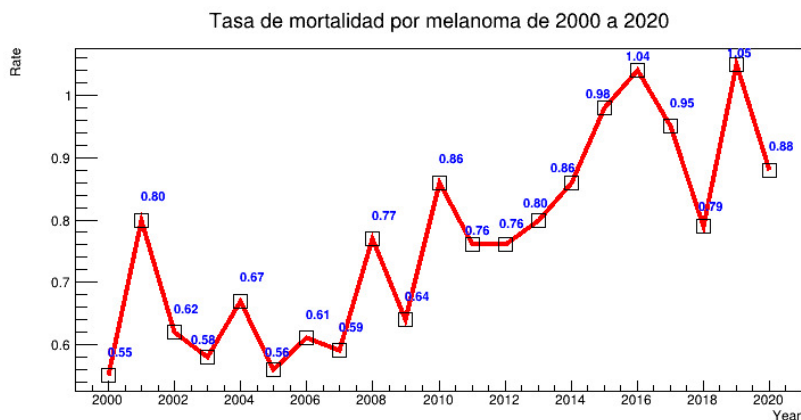


Figura 4.18: Tasa del melanoma en los años 2000 a 2020 de la Ciudad de México.

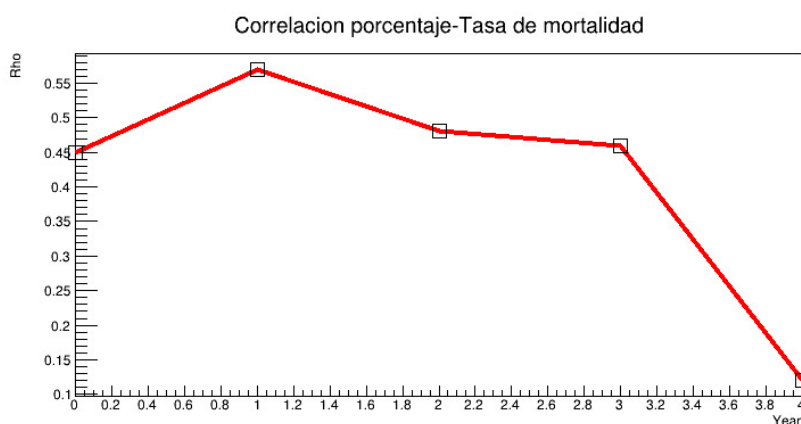


Figura 4.19: Distribución y valor del coeficiente de correlación del porcentaje del IUVB con la tasa de mortalidad contra rezagos temporales.

4.7.2. Correlación de la media general con la tasa de mortalidad

Por último, se realiza la correlación de Spearman para la media general, para este caso, se obtuvieron los valores de la tabla 4.2.

En la gráfica de la Figura 4.20 se puede observar el comportamiento y la distribución del coeficiente de correlación.

Para el análisis de correlación de Spearman entre la media general del índice UVB (IUVB) y la tasa de mortalidad por melanoma en la Ciudad de México, de igual manera se consideraron diferentes rezagos temporales, desde 0 hasta 4 años, pues después de 4 años los resultados tienden a ser inconsistentes.

Los resultados indican que la correlación más fuerte se encuentra con un rezago de 1 año con $\rho = 0,6175$ y $p = 0,0048$, lo que sugiere una relación significativa entre el promedio anual del IUVB y la tasa de mortalidad del año siguiente. Este resultado es estadísticamente significativo ya que $p < 0,05$.

Para rezagos de 0 y 3 años, se observaron correlaciones moderadas con $\rho = 0,4868$, $p = 0,0295$ y $\rho = 0,5052$, $p = 0,0386$, respectivamente, también significativas, aunque con menor fuerza en

Rezago (Años)	Coefficiente de correlación ρ	p-valor
0	0.4868	0.0295
1	0.6175	0.0048
2	0.4511	0.0603
3	0.5052	0.0386
4	0.1329	0.6236

Tabla 4.2: Valores del coeficiente y el p-valor al aplicar la correlación con rezagos diferentes rezagos temporales para la media general.

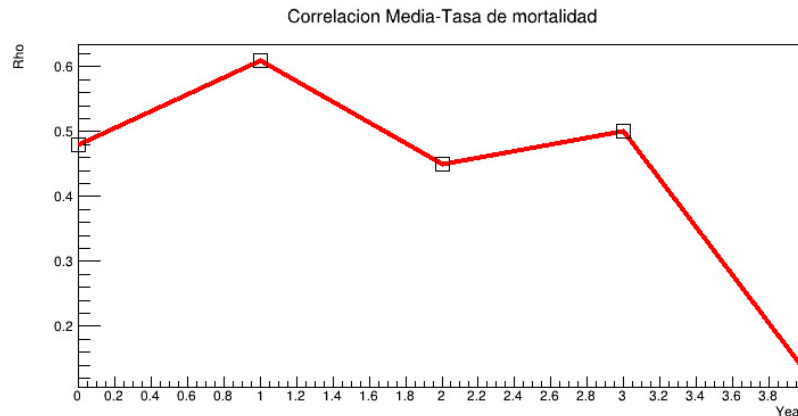


Figura 4.20: Distribución y valor del coeficiente de correlación de la media general del IUVB con la tasa de mortalidad contra rezagos temporales.

comparación con el rezago de 1 año. En el caso del rezago de 2 años, la correlación es ligeramente menor, ya que $\rho = 0,4511$ y menos significativa, pues el valor $p = 0,0603$. Esto sugiere que la relación entre estas variables puede debilitarse con el tiempo y que el rezago de 3 años es más fuerte que el de 2.

Por otro lado, con un rezago de 4 años, la correlación es débil pues $\rho = 0,1329$ y no significativa ya que el valor $p = 0,6236$, teniendo que la correlación para 4 años es más bien por casos menores que hubo en la tasa de mortalidad y esta tendencia se sigue para los años posteriores.

Capítulo 5

Discusión de resultados

Alguna parte de los meses faltantes se complementa con las otras estaciones al momento de promediar los valores. Además, esta decisión metodológica se fundamenta en varios factores clave relacionados con la representatividad de los datos y la del melanoma.

En primer lugar, dado que la tasa de mortalidad utilizada en el análisis corresponde a la totalidad de la Ciudad de México, es fundamental que el IUVB represente de manera adecuada la exposición promedio de la población en toda la región. Las cinco estaciones de monitoreo con las que se cuenta en este análisis están distribuidas geográficamente en la ciudad y los alrededores, lo que permite captar variaciones en la exposición a la radiación UVB en distintas zonas [41]. Promediar sus valores contribuye a reducir sesgos asociados a diferencias locales y proporciona una estimación más robusta de la exposición global de la CDMX.

La distribución de las estaciones provoca cambios de altitud y sabemos que la prevalencia del melanoma tiende a aumentar con la altitud [37]. La estación de Merced se localiza a una altitud de 2,245 metros sobre el nivel del mar (msnm), mientras que la estación de Tlalnepantla se encuentra a 2,311 msnm. Por su parte, la estación de San Agustín está situada a 2,241 msnm, y la estación de Pedregal se ubica a 2,326 msnm. Finalmente, la estación de Montecillo se halla a una altitud de 2,252 msnm [41]. El uso de un promedio de las cinco estaciones permite obtener un valor más representativo de la exposición con respecto a su altitud.

Por otra parte, al tener tendencias generales, es posible realizar comparativas indirectas con hechos registrados en la Ciudad de México. Por ejemplo, sabemos que, aunque la temperatura no afecta directamente la radiación UVB, los días más cálidos suelen estar asociados con cielos despejados y menor nubosidad, lo que permite una mayor penetración de la radiación UVB en la superficie terrestre. La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) cuenta con información acerca de la temperatura media por mes en la Ciudad de México. De esta información observamos que en los años 2000 a 2018 se han tenido medias anuales de temperaturas entre 15.8 °C y 17.8 °C. Registrando la mínima en los años 2000 y 2001 con un valor de 15.8 °C. Mientras que la máxima se da en 2013 con una temperatura de 17.8 °C. Este valor fue el máximo hasta el 2018. Sin embargo, en los años 2019 y 2020 se superó ese umbral, con una temperatura de 18.4 °C y 18.3 °C respectivamente [43]. Este incremento se alinea con la tendencia nacional, pues en un comunicado de prensa de CONAGUA, titulado *“Estado del clima en México durante 2020 y perspectivas para 2021”* menciona que *“El promedio de temperatura global, a dos metros de la superficie, ubicó al año 2020 como el segundo más cálido del registro histórico desde 1880, con una anomalía positiva de 0.98 grados Celsius —tan solo 0.02 grados Celsius más fresco que 2016, considerado como el año más cálido del registro—, de acuerdo con el reporte del Estado del Clima 2020, publicado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM)”* [44]. Se observa que el 2016 fue aún mayor; sin embargo, en la Ciudad de México se observó una temperatura media de 17.1 °C, un valor mucho menor al de 2020. Por lo tanto, el incremento del 2016 a nivel nacional no se vio reflejado por la CDMX, teniendo entonces como los valores más altos a 2019 y 2020. En los resultados se observa

que tanto para la media del IUVB como para el porcentaje de entradas mayores o iguales a un índice de 8, se encontró su valor máximo en el año 2020, reforzando así los resultados obtenidos al relacionar la temperatura con el IUVB obtenido.

Por otra parte, en un comunicado de la secretaria de salud, titulado “*Falta de prevención y detección tardía ocasiona 30 % de fallecimientos en pacientes con melanoma*” [45]. El mismo título menciona que la falta de prevención ocasiona un 30 % de fallecimientos; de esto se puede suponer que un peso muy fuerte ante este porcentaje recae en la CDMX, ya que esta recibe las dosis anuales más altas de radiación UV en México [40].

De las correlaciones obtenidas, observamos que el mayor peso se da para un año. Esto puede deberse a la detección tardía, pues el melanoma puede generar metástasis, es decir, que se detecta en etapa III y IV. Además, sabe que si hay un aumento en la incidencia de radiación UVB, este aumento puede provocar un mayor desarrollo del melanoma, consiguiendo así que etapas tempranas evolucionen a etapas tardías (III y IV), generando así mayor agresividad del tumor [35], y sabiendo la tasa de supervivencia de las etapas tardías, podemos suponer que el aumento en el IUVB refleja el aumento en la tasa del melanoma un año después, como lo indica la correlación más fuerte. Además, se cree que una alta exposición a radiación UV aumenta el riesgo de mortalidad por melanoma [39], confirmando así ambas partes.

Capítulo 6

Conclusión

En este trabajo se realizó un análisis de datos para la caracterización del Índice de Radiación Ultravioleta B (IUVB) en la Ciudad de México, obtenido de cinco estaciones de monitoreo (Merced, Tlalnepantla, San Agustín, Pedregal y Montecillo) durante los años 2000 a 2022. Observando la distribución de cada estación del porcentaje de entradas del IUVB mayores o iguales a 8 (considerado un nivel de exposición muy alto) así como la media. Generando y observando la distribución y tendencias generales de ambos. Con esto se realizó una correlación con la tasa de mortalidad por melanoma en la Ciudad de México para los años 2000 a 2020, obteniendo diferentes valores al considerar rezagos temporales.

El análisis mostró que tanto para el porcentaje de entradas del IUVB mayores o iguales a 8 como para la media, se obtuvo un pico máximo en el año 2020 y un mínimo en 2010. El pico en el año 2020 del IUVB coincide con un pico en la temperatura para el mismo año, lo cual, a pesar de no estar involucrados directamente, funciona como una posible causa.

Los valores máximos de la estación MER, permitieron observar que la distribución de estos se acerca a una distribución normal y así tomar en cuenta otros enfoques para abordar la correlación. Además, los valores máximos también proporcionan información valiosa sobre la intensidad de la radiación UVB en cada mes, pues se observa que el valor de mayor intensidad del IUVB se da en el mes de junio para 2020, 2021 y 2022.

La correlación de Spearman aplicada a los datos reveló que la correlación más fuerte entre el IUVB del porcentaje de entradas mayores o iguales a 8 ($\rho = 0,5704$) y para la media ($\rho = 0,6175$) con la tasa de mortalidad por melanoma se da para el rezago temporal de un año. Esto sugiere que el aumento o la disminución de la radiación UVB no se refleja de manera inmediata en la tasa de mortalidad, sino que se manifiesta con un desfase temporal de un año, posiblemente debido a la detección tardía. Sin embargo, también es importante considerar las correlaciones con rezagos de 0, 2 y 3 años, pues traen consigo parte del porcentaje de defunciones.

A pesar de los resultados obtenidos, es importante reconocer las limitaciones del estudio, principalmente la falta de datos en algunos meses y años, lo que pudo afectar la precisión de las tendencias observadas. Además, son necesarios más estudios en el análisis, como considerar otros factores de riesgo asociados al melanoma, la exposición solar individual, el fototipo, la genética y el tipo histológico del melanoma. Esto, para confirmar los rezagos obtenidos en este trabajo. Pese a ello y tomando en cuenta que la correlación de Spearman no busca un dato preciso sino que busca incrementos y disminuciones, es un buen acercamiento. También es un buen aporte al ofrecer otro punto de vista no asociado únicamente a la fotoprotección.

Capítulo 7

Recomendaciones

Este análisis resulta un tanto complejo. Lo recomendable es considerar más estudios que tengan en cuenta otros factores y marcadores de riesgo del melanoma, como la exposición solar individual, patrón de exposición, fototipo de piel, la genética y el tipo histológico de melanoma. Esto para poder confirmar y obtener valores más acertados.

Además, es posible contar con diferentes alternativas para atacar estas correlaciones y estos análisis, pues, como se observa en los resultados para los valores máximos obtenidos; la distribución de estos se acerca a una distribución binomial, así como también sucede con otros datos como la media. Es decir, teniendo los datos distribuidos de esta manera, se consideraría plausible promediar los valores de mes a mes, o estación del año a estación del año, en lugar de hacerlo para el año entero. Esto permitiría obtener valores generales por mes o por estación, aplicando entonces otro tipo de correlación, como la de Pearson, ya que esta se ajusta mejor a los datos distribuidos de manera binomial. Además de contar con la tasa de mortalidad por mes.

También podría considerarse la moda estadística, pues esta nos ayuda a entender la tendencia central de los datos y así observar otros tipos de tendencias que sigan estos datos, aplicando así la correlación que mejor se ajuste a estos.

Otra manera de abordar este análisis podría ser posible si se contara con tasas de mortalidad del melanoma por cercanía a las estaciones. Así, un análisis más detallado por zona podría realizarse en futuras investigaciones, pues la correlación se podría hacer directamente con la información con que se cuenta en esa zona tanto para la mortalidad como para la incidencia de radiación UVB, siendo así un estudio más preciso.

También, sería importante rescatar toda la información que esté a disposición, pues, además de las cinco estaciones con las que se realizó este análisis, SEDEMA cuenta con más estaciones que buscan informar y prevenir sobre los riesgos a la radiación solar, como lo son las estaciones de Chalco (CHO), Cuautitlán (CUT), FES Acatlán (FAC), FES Aragón (FAR), Milpa Alta (MPA), Santa Fe (SFE) [41]. Esto permitiría tener un análisis más completo y detallado.

Por último, para solucionar el problema de la falta de datos, podrían aplicarse diversas técnicas de imputación de datos para llenar el vacío existente de datos en meses, como el método de emparejamiento de medias predictivas (PMM, por sus siglas en inglés) y así completar los datos faltantes del índice UVB como se realiza en [46].

Apéndice A

Correlación de Spearman

La correlación de Spearman es una medida no paramétrica que evalúa la relación monótona entre dos variables. A diferencia de la correlación de Pearson, que mide la relación lineal, Spearman se basa en los rangos de los datos y es adecuada para variables ordinales o cuando no se cumplen los supuestos de normalidad o linealidad.

Conceptos clave

- **Relación monótona:** Una relación en la que, a medida que una variable aumenta, la otra tiende a aumentar (o disminuir) de manera consistente, pero no necesariamente de forma lineal.
- **No paramétrica:** No asume una distribución específica de los datos.
- **Basada en rangos:** Utiliza el orden de los datos en lugar de los valores brutos.

Fórmula

El coeficiente de correlación de Spearman (ρ) se calcula como:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (\text{A.1})$$

Donde:

- d_i : Diferencia entre los rangos de las dos variables para cada observación.
- n : Número de observaciones.

Pasos para calcularla

1. **Asignar rangos:** Para cada variable, asigna rangos a los valores. Si hay empates, se asigna el rango promedio.
2. **Calcular diferencias:** Para cada observación, calcula la diferencia (d_i) entre los rangos de las dos variables.
3. **Elevar al cuadrado:** Eleva cada diferencia al cuadrado (d_i^2).
4. **Sumar diferencias:** Suma todas las diferencias cuadradas ($\sum d_i^2$).
5. **Aplicar la fórmula:** Usa la fórmula de Spearman para calcular ρ .

Interpretación

- ρ varía entre -1 y 1:
 - 1: Correlación monótona positiva perfecta.
 - -1: Correlación monótona negativa perfecta.
 - 0: No hay correlación monótona.
- Valores cercanos a 1 o -1 indican una fuerte relación monótona.

Ventajas

- No requiere que los datos sigan una distribución normal.
- Es robusta ante valores atípicos.
- Puede usarse con datos ordinales.

Limitaciones

- No detecta relaciones no monótonas (por ejemplo, una relación en forma de U).
- Puede perder información al convertir datos continuos en rangos.

Prueba de significancia

El coeficiente de Spearman suele acompañarse de un p-valor para evaluar si la correlación es estadísticamente significativa. Un p-valor bajo sugiere que la correlación no es debida al azar. El cálculo del p-valor no se hace manualmente, sino que se basa en métodos estadísticos o aproximaciones y depende del número de muestras, a como se desarrolla su cálculo; para el caso de este trabajo se usó el de muestras pequeñas.

Para muestras pequeñas ($n \leq 30$), el p-valor se determina utilizando tablas de distribución exacta del coeficiente de Spearman. Estas tablas proporcionan los valores críticos de ρ para diferentes niveles de significancia.

Interpretación del p-valor

- **p-valor < 0.05 :** La correlación es estadísticamente significativa. Se rechaza la hipótesis nula de no correlación.
- **p-valor ≥ 0.05 :** No hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. La correlación no es estadísticamente significativa.

En la práctica, el p-valor se calcula automáticamente usando software estadístico.

Apéndice B

Valores máximos del IUVB alcanzados por mes en cada estación

En este apéndice se presentan los valores máximos alcanzados en cada mes; estos valores están ordenados de forma vectorial por mes, es decir, que el primer valor representa el valor de enero, el segundo el de febrero y así sucesivamente. Los valores con -0.325 indican que en ese mes no hubo entradas, además los años están divididos por no bisiestos y bisiestos.

Merced

No bisiestos.

2001: {-0.325, 8.775, 12.025, 12.025, -0.325, -0.325, -0.325, 11.375, 10.9417, 9.425, 7.475, 6.825}

2002: {7.69167, 9.20833, 11.375, 12.8917, 12.4583, 11.5917, 10.5083, 10.5083, 11.1583, 9.64167, 7.25833, 5.95833}

2003: {7.90833, 10.5083, 11.5917, 10.5083, 10.5083, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, 10.9417, 10.075, 7.69167}

2005: {8.55833, 9.64167, 12.675, 12.2417, 11.1583, 11.1583, 11.375, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325}

2006: {-0.325, -0.325, -0.325, 9.85833, 8.55833, 12.8917, 12.675, 11.5917, 12.675, 11.1583, 7.69167, 6.825}

2007: {9.20833, 11.1583, 10.9417, 12.4583, 11.1583, 11.5917, 10.725, 11.5917, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325}

2009: {-0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, 11.8083, 11.5917, 9.20833, 11.375, 8.125, 8.125}

2010: {6.825, 4.65833, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, 8.125, 7.90833, 5.525, 4.875}

2011: {5.95833, 6.825, 7.475, 8.125, 10.075, 11.375, 12.2417, 11.5917, 10.9417, 9.64167, 7.25833, 6.825}

Valores máximos del IUVB alcanzados por mes en cada estación

2013: {7.90833, 10.075, 12.2417, 11.375, 10.2917, 11.375, 11.8083, 10.725, 10.725, 8.99167, 8.775, 6.825}

2014: {6.825, 8.34167, 11.8083, 12.2417, 10.725, 10.725, 11.1583, 11.1583, 11.375, 8.99167, 8.125, 7.25833}

2015: {7.90833, 9.425, 11.8083, 11.375, 12.2417, 10.725, 11.1583, 10.9417, 10.5083, 10.2917, 8.99167, 6.825}

2017: {-0.325, -0.325, 11.5917, 12.025, 10.9417, 12.4583, 12.675, 11.5917, 12.2417, 11.1583, 8.55833, 6.60833}

2018: {5.95833, -0.325, -0.325, 12.2417, 12.4583, 12.2417, 11.5917, 12.8917, 12.675, 11.375, 11.1583, 9.85833}

2021: {8.125, 10.075, 11.1583, 11.375, 12.2417, 12.675, 11.5917, 11.375, 11.1583, 11.1583, 9.425, 7.475}

2022: {9.425, 10.725, 12.675, 12.4583, 12.8917, 12.8917, -0.325, -0.325, 12.2417, 10.725, 8.99167, 7.90833}

Bisiestos.

2000: {4.65833, 5.09167, -0.325, 12.8917, 11.5917, 11.375, 10.2917, 12.675, 10.5083, -0.325, -0.325, -0.325}

2004: {9.20833, 11.1583, 12.675, 12.675, 11.8083, 12.8917, 10.9417, 11.1583, 10.725, 10.2917, 8.34167, 7.04167}

2012: {7.04167, 10.5083, 10.2917, 11.375, 11.5917, 10.725, 10.9417, 10.9417, 9.85833, 10.075, 8.125, 7.04167}

2016: {8.125, 8.99167, 12.2417, 12.025, 12.2417, 10.725, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325}

2020: {8.99167, 10.725, 11.375, 12.2417, 12.4583, 12.8917, 12.8917, 12.675, 11.8083, 11.8083, 9.85833, 7.90833}

Tlalnepantla

No bisiestos.

2001: {-0.325, 8.99167, 12.675, 12.2417, 11.8083, 10.725, 11.1583, 12.4583, 10.9417, 9.425, 8.125, 6.825}

2002: {7.475, 9.425, 11.1583, 12.4583, 11.375, 10.9417, 10.075, 10.075, 10.725, 8.99167, 7.90833, 6.60833}

2003: {8.125, 8.775, 9.85833, 10.725, 11.8083, -0.325, 10.9417, 11.5917, 10.075, 10.2917, 8.34167, 6.825}

Valores máximos del IUVB alcanzados por mes en cada estación

2005: {7.04167, 8.775, 12.025, 12.025, 10.5083, 10.9417, 11.5917, 11.375, 10.5083, 10.075, 8.99167, 6.175}

2006: {7.475, 9.425, 10.075, 12.025, 11.8083, 12.025, 12.2417, 11.1583, 11.5917, 10.075, 7.90833, 7.475}

2007: {9.425, 9.425, 9.85833, 10.725, 10.5083, 10.9417, 11.5917, 12.025, 10.9417, 10.2917, 8.55833, 7.25833}

2010: {7.90833, 10.075, 10.725, 10.2917, 10.5083, 9.85833, 10.2917, 10.9417, 10.075, 10.5083, 7.69167, 5.95833}

2011: {7.25833, 7.69167, 9.85833, 11.1583, 11.5917, 11.375, 11.5917, 12.2417, 11.8083, 10.075, 7.69167, -0.325}

2013: {7.475, 10.725, 12.4583, 10.9417, 10.9417, 11.5917, 10.725, 11.375, 11.375, 9.425, 8.55833, 7.04167}

2014: {6.825, 8.55833, 11.5917, 12.4583, 11.375, 12.2417, 11.375, 11.375, 10.2917, 8.99167, 8.775, 7.04167}

2015: {7.69167, 9.20833, 10.9417, 10.9417, 12.8917, 11.375, 10.9417, 11.375, 10.9417, 10.5083, 8.34167, 6.39167}

2017: {-0.325, -0.325, 12.2417, 12.675, 10.725, 12.025, 11.8083, 11.8083, 11.5917, 10.725, 8.125, 5.525}

Bisiestos.

2016: {7.25833, 8.125, 11.8083, 11.375, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325}

2000: {5.09167, 5.95833, 5.74167, 8.125, 11.375, 11.375, 11.1583, 10.725, 8.775, -0.325, -0.325, -0.325}

2004: {8.775, 10.9417, 12.4583, 12.675, 12.2417, 10.9417, 11.375, 11.1583, 10.2917, 9.425, 8.55833, 6.175}

2008: {7.475, 9.425, 11.1583, 12.025, 11.375, 11.5917, 10.2917, 10.725, 10.2917, 9.20833, 8.125, 5.74167}

2012: {-0.325, 10.2917, 10.9417, 11.5917, 12.2417, 10.5083, 10.9417, 10.725, 10.725, 9.85833, 7.69167, 6.60833}

2016: {7.25833, 8.125, 11.8083, 11.375, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325}

San Agustín

No bisiestos

2001: {-0.325, 9.20833, 10.075, 11.375, 12.2417, 11.375, 11.5917, 11.8083, 11.375, 9.85833, 8.55833, 7.04167}

Valores máximos del IUVB alcanzados por mes en cada estación

2002: {8.34167, 10.2917, 12.2417, 11.8083, 12.025, 12.675, 10.2917, 12.2417, 11.8083, 11.1583, 9.425, 7.25833}

2003: {8.34167, 10.9417, 11.1583, 11.375, 12.025, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, 8.775, 6.60833}

2005: {7.475, 8.125, 10.725, 10.725, 10.5083, 11.1583, 12.025, 11.375, 11.1583, 9.85833, 8.34167, 6.175}

2006: {7.475, 8.99167, 10.2917, 12.025, 11.5917, 11.8083, 12.025, 11.1583, 12.025, 11.1583, 8.55833, 6.60833}

2007: {8.125, 10.2917, 10.2917, 11.375, 10.725, 10.725, 11.8083, 11.8083, 11.1583, 11.1583, -0.325, -0.325}

2009: {-0.325, 9.64167, 10.075, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, 6.825, 7.04167}

2010: {8.125, 10.075, 10.725, 10.9417, 10.5083, 11.375, 11.8083, 11.5917, 11.375, 10.2917, -0.325, 6.60833}

2011: {7.69167, 8.34167, 10.2917, 10.2917, 11.8083, 12.4583, 12.675, -0.325, -0.325, -0.325, 8.34167, 7.69167}

2014: {-0.325, -0.325, -0.325, 9.85833, 12.025, 12.4583, 10.9417, 10.2917, 10.5083, 9.20833, 7.475, 6.60833}

2015: {7.04167, 8.775, 10.725, 10.5083, 11.1583, 10.5083, 10.2917, 10.2917, 9.85833, 9.64167, 8.125, 6.175}

2017: {-0.325, -0.325, 11.375, 12.025, 11.8083, 12.2417, 12.8917, 12.2417, 11.8083, 12.025, 8.55833, 7.04167}

2018: {7.04167, 9.20833, 10.9417, 10.9417, 11.5917, 11.5917, -0.325, 12.8917, 12.4583, 11.375, 10.075, 9.425}

2022: {-0.325, 9.425, 10.075, 11.375, 11.8083, 12.2417, 12.025, 11.375, 11.8083, 10.2917, 8.99167, 8.775}

Bisiestos

2000: {-0.325, -0.325, -0.325, 6.175, 10.2917, 11.375, 10.2917, 10.2917, 10.2917, -0.325, -0.325, -0.325}

2004: {8.34167, 10.2917, 12.2417, 11.8083, 12.2417, 11.375, 11.1583, 11.1583, 10.5083, 10.725, 8.55833, 6.39167}

2008: {8.34167, 9.425, 10.725, 12.025, 12.2417, 12.4583, 9.85833, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325}

Valores máximos del IUVB alcanzados por mes en cada estación

2016: {6.60833, 7.90833, 10.5083, 10.5083, 10.5083, 9.85833, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325}

2020: {9.20833, 11.375, 12.2417, 12.675, 12.8917, 12.8917, 12.2417, 12.8917, 12.8917, -0.325, -0.325, -0.325}

Pedregal

No bisiestos.

2001: {-0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, 11.5917, 12.025, 10.2917, 8.55833, 7.04167}

2002: {8.775, 9.20833, 12.025, 11.375, 10.9417, 11.8083, 10.2917, 10.725, 11.375, 9.425, 8.125, 7.25833}

2003: {5.95833, 8.125, 9.20833, 11.8083, 11.5917, -0.325, 10.075, 10.725, 10.2917, 10.725, 8.55833, 6.39167}

2005: {6.825, 8.55833, 11.375, 12.025, 11.1583, 10.9417, 10.9417, 11.5917, 10.2917, 8.775, 8.55833, 6.175}

2006: {7.69167, 8.99167, 11.1583, 11.8083, 11.5917, 10.725, 10.2917, 10.5083, 10.075, 8.775, 7.90833, 6.175}

2007: {9.425, 11.5917, 12.4583, 12.675, 12.2417, 12.025, 12.4583, 11.5917, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325}

2009: {10.9417, 10.9417, 12.675, 12.4583, 12.4583, 11.8083, 11.8083, 11.5917, 10.9417, -0.325, -0.325, -0.325}

2011: {8.55833, 9.20833, 10.5083, 11.8083, 11.8083, 11.5917, 11.8083, 12.4583, 12.4583, 10.075, 7.90833, 6.825}

2013: {8.55833, 11.1583, 12.8917, 12.2417, 12.4583, 11.5917, 11.375, 10.725, 12.2417, 9.64167, 8.99167, 7.475}

2014: {8.125, 9.20833, 12.025, 12.8917, 10.725, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325}

2017: {8.99167, 10.5083, 12.675, 12.8917, 11.1583, 12.8917, 12.2417, 12.8917, 11.8083, 10.5083, 8.775, 7.475}

2018: {7.69167, 10.075, 12.025, 12.025, 12.025, 12.8917, 12.675, 12.8917, 12.2417, 11.5917, 9.85833, 9.20833}

2021: {9.425, 11.1583, 12.675, 12.675, 12.8917, 12.8917, 12.8917, 12.8917, 12.675, 11.8083, 9.20833, 7.90833}

2022: {9.20833, 11.1583, 12.8917, 12.8917, 12.675, 12.675, 12.8917, 12.675, 12.8917, 11.375, 9.425, 8.34167}

Valores máximos del IUVB alcanzados por mes en cada estación

Bisiestos.

2000: {5.95833, -0.325, -0.325, 12.675, 11.8083, 11.5917, 10.075, 9.85833, 9.64167, -0.325, -0.325, -0.325}

2004: {8.99167, 10.725, 11.5917, 12.8917, 11.8083, 10.5083, 11.8083, 11.5917, 9.85833, 8.775, 7.25833, 6.825}

2012: {7.90833, 10.9417, 10.5083, 11.5917, 11.375, 12.2417, 10.725, 12.8917, 12.025, 10.5083, 8.55833, 7.90833}

2016: {-0.325, -0.325, -0.325, -0.325, 12.2417, 12.4583, 12.675, 12.4583, 12.025, 11.8083, 9.425, 9.20833}

2020 {9.64167, 10.9417, 12.8917, 12.8917, 12.8917, 12.8917, 12.8917, 12.8917, 12.8917, 11.8083, 10.2917, 7.90833}

Montecillo

No bisiestos.

2001: {7.04167, 8.125, 9.85833, 10.5083, 10.5083, 10.2917, 11.1583, 11.5917, 10.9417, 10.075, 7.90833, 6.39167}

2002: {7.69167, 9.64167, 10.9417, 11.375, 11.1583, 12.025, 11.375, 10.725, 10.9417, 10.075, 8.99167, 6.825}

2003: {7.90833, 10.2917, 10.075, 10.9417, 11.5917, -0.325, 11.5917, 11.8083, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325}

2005: {7.475, 8.775, 11.1583, 12.025, 10.5083, 11.5917, 11.8083, 12.025, 10.725, 10.5083, 8.55833, 6.60833}

2006: {6.39167, 7.25833, 8.99167, 9.20833, 9.85833, 10.2917, 10.5083, 10.9417, 10.725, 10.2917, 7.90833, 5.95833}

2007: {7.69167, 9.20833, 9.425, 10.9417, 10.5083, 10.2917, 12.4583, 11.8083, 10.5083, 10.9417, 8.55833, 7.25833}

2009: {-0.325, -0.325, -0.325, -0.325, 11.1583, 12.025, 10.725, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, 7.69167}

2010: {8.775, 10.5083, 11.8083, 12.4583, 12.025, 11.375, 11.1583, 12.4583, 11.1583, 10.725, 7.90833, 5.95833}

2011: {8.34167, 8.34167, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, 11.8083, 12.4583, 11.8083, 10.725, 8.34167, 7.25833}

2013: {8.775, 10.9417, 12.4583, 12.4583, 11.8083, 12.2417, 11.5917, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325}

Valores máximos del IUVB alcanzados por mes en cada estación

2014: {-0.325, -0.325, -0.325, 10.725, 12.2417, 12.8917, 12.4583, 12.8917, 12.8917, 12.025, 9.64167, 8.125}

2015: {9.20833, 10.725, 11.5917, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325}

2017: {6.825, 8.99167, 9.85833, 12.2417, 12.675, 12.8917, 12.2417, 12.675, 12.8917, 11.8083, 8.34167, 7.25833}

2018: {7.475, 9.85833, 10.9417, 12.025, 12.675, 12.675, 10.9417, 12.8917, 12.675, 12.4583, 11.5917, 10.2917}

2022: {-0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, 11.1583, 9.64167, 8.34167, 6.825}

Bisiesto

2000: {-0.325, -0.325, -0.325, 10.5083, 9.85833, 10.5083, 10.2917, -0.325, -0.325, 8.55833, 7.25833, 6.175}

2004: {8.34167, 10.075, 11.5917, 12.025, 12.675, 12.675, 12.025, 11.5917, 10.725, 10.725, 8.55833, 6.60833}

2008: {-0.325, 9.425, 10.5083, 11.375, 10.9417, 10.9417, 12.8917, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325, -0.325}

2012: {7.475, 9.85833, 10.075, 11.1583, 12.025, 11.8083, 12.025, 11.8083, 11.8083, 10.725, 8.34167, 7.475}

2016: {-0.325, -0.325, -0.325, -0.325, 12.675, 12.4583, 12.4583, 12.675, 12.025, 11.1583, 10.5083, 7.475}

2020: {10.2917, 11.5917, 11.1583, 12.2417, 12.2417, 12.675, 12.4583, 12.675, 11.8083, 11.8083, 9.425, 7.04167}

Apéndice C

Valores de la media de entradas totales del IUVB por mes en cada estación

En este apéndice se presentan los valores de la media en cada mes; estos valores están ordenados de forma vectorial por mes, el primer vector indica el mes (del 1 al 12 si está completo, sino solo indica el mes en que hubo entradas) y el segundo vector el valor que se obtuvo en ese mes.

Merced

2000

{1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9}

1.725, 1.777, 4.591, 3.347, 3.599, 3.432, 3.39, 3.79

2001

{2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.797, 4.415, 4.199, 3.24, 3.06, 2.782, 2.37, 2.043}

2002

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.602, 2.963, 4.02, 3.862, 3.681, 3.302, 2.869, 3.04, 2.641, 2.696, 2.261, 1.874}

2003

{1, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 12}

{1.811, 3.392, 3.698, 3.343, 3.467, 3.163, 3.112, 2.386}

2004 {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.83, 3.742, 3.936, 4.448, 3.422, 3.197, 3.015, 2.991, 2.757, 2.585, 2.668, 2.512}

2005

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7}

{2.572, 3.147, 4.013, 3.791, 3.337, 2.912, 3.445}

2006

{4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

Valores de la media de entradas totales del IUVB por mes en cada estación

{3.35, 2.683, 3.914, 3.27, 3.152, 2.991, 2.697, 2.219, 2.131}

2007

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8}

{2.503, 3.65, 3.381, 3.707, 3.29, 3.176, 2.957, 3.214}

2009

{7, 8, 9, 10, 11, 12}

{4.037, 4.002, 2.748, 3.459, 2.882, 2.462}

2010 {1, 2, 9, 10, 11, 12}

{2.229, 1.574, 2.41, 2.596, 1.904, 1.64}

2011 {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.045, 2.236, 2.628, 2.781, 3.125, 3.586, 3.007, 3.568, 3.523, 3.041, 2.233, 2.154}

2012

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.392, 2.758, 3.472, 3.564, 3.331, 3.121, 2.927, 2.799, 3.254, 3.26, 2.451, 2.397}

2013

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.588, 3.662, 3.656, 3.679, 3.505, 3.346, 3.201, 3.179, 2.675, 2.701, 2.332, 2.141}

2014

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.275, 2.919, 3.824, 4.01, 3.219, 3.177, 3.397, 3.401, 2.943, 2.694, 2.357, 2.23}

2015

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.507, 2.913, 3.243, 3.545, 3.375, 3.046, 3.236, 3.271, 2.875, 3.134, 2.81, 2.317}

2016

{1, 2, 3, 4, 5, 6}

{2.509, 3.12, 3.751, 3.888, 3.874, 3.299}

2017 {3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{4.465, 4.25, 3.553, 3.954, 3.702, 3.799, 3.457, 3.235, 3.105, 2.391}

2018 {1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.334, 3.855, 4.307, 3.757, 3.838, 3.973, 3.767, 3.315, 3.161, 3.225}

2020

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.213, 3.104, 3.856, 3.862, 3.665, 4.2, 4.086, 3.733, 3.321, 3.913, 3.313, 2.606}

2021

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.424, 3.166, 3.64, 3.467, 3.51, 2.864, 2.972, 3.194, 2.882, 3.13, 2.797, 2.301}

2022

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12}

Valores de la media de entradas totales del IUVB por mes en cada estación

{2.682, 3.457, 4.31, 4.206, 4.174, 3.621, 3.243, 2.925, 2.696, 2.322}

Tlalnepantla

2000

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}

{1.811, 2.012, 1.959, 2.717, 3.073, 2.897, 4.511, 3.124, 3.11}

2001

{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{3.053, 4.156, 4.187, 3.521, 3.063, 2.949, 3.5, 3.493, 2.784, 2.51, 2.164}

2002

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.439, 2.897, 3.86, 3.902, 3.765, 3.215, 2.487, 2.89, 2.555, 2.526, 2.103, 1.982}

2003

{1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.083, 2.901, 3.013, 2.879, 3.982, 3.113, 3.487, 2.744, 2.824, 2.742, 2.236}

2004

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.355, 3.611, 3.959, 4.023, 3.644, 3.163, 3.07, 3.159, 3.023, 2.713, 2.568, 2.135} 2005

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12} {2.34, 2.715, 3.584, 3.468, 3.035, 3.221, 3.333, 2.837, 3.322, 2.976, 2.449, 2.074}

2006

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.564, 3.28, 3.483, 3.893, 3.554, 3.547, 3.184, 2.885, 2.991, 2.75, 2.283, 2.295}

2007

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.334, 3.282, 3.152, 2.984, 3.062, 2.937, 3.238, 3.292, 3.175, 3.055, 2.588, 2.244}

2008

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.489, 3.137, 3.511, 3.574, 3.197, 2.958, 2.63, 2.861, 2.656, 2.656, 2.564, 1.884}

2010

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.223, 3.114, 3.587, 3.261, 3.366, 3.197, 2.867, 3.13, 3.149, 3.048, 2.333, 1.993}

2011

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11}

{2.292, 2.665, 3.18, 3.737, 3.745, 3.756, 3.492, 3.736, 3.863, 3.383, 2.364}

2012

{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{3.011, 3.539, 3.572, 3.608, 3.07, 3.105, 2.897, 3.283, 3.222, 2.266, 2.167}

2013

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

Valores de la media de entradas totales del IUVB por mes en cada estación

{2.325, 3.503, 3.862, 3.541, 3.331, 3.201, 3.343, 3.303, 2.782, 2.9, 2.372, 2.217}

2014

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.241, 2.986, 3.966, 3.802, 3.342, 3.034, 3.023, 3.235, 3.081, 2.669, 2.597, 2.193}

2015

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.448, 2.86, 3.138, 3.552, 3.881, 3.567, 3.549, 3.735, 3.366, 3.299, 2.636, 2.172}

2016 {1, 2, 3, 4}

{2.251, 2.782, 3.449, 3.633}

2017

{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12} {4.219, 4.172, 3.746, 4.311, 3.554, 3.675, 3.339, 3.127, 3.12, 2.636}

San Agustín

2000

{4, 5, 6, 7, 8, 9}

2.371, 2.666, 2.972, 3.706, 3.366, 3.295;

2001

{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{3.117, 3.675, 3.663, 3.909, 3.616, 3.545, 3.838, 3.767, 3.114, 2.731, 2.333}

2002

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.727, 3.381, 4.349, 4.198, 4.018, 3.743, 3.856, 3.658, 3.554, 3.413, 2.78, 2.445}

2003

{1, 2, 3, 4, 5, 11, 12}

{2.498, 3.785, 3.794, 3.624, 3.991, 3.069, 2.366}

2004

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.478, 3.498, 3.514, 4.709, 3.853, 3.415, 3.531, 3.777, 3.476, 3.017, 2.817, 2.297}

2005

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.499, 2.88, 3.377, 3.845, 3.154, 3.458, 3.813, 3.641, 3.629, 3.152, 2.875, 2.287}

2006

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.489, 3.082, 3.512, 4.42, 4.13, 3.968, 3.538, 3.292, 3.53, 3.033, 2.529, 2.346}

2007

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10}

{2.511, 3.348, 3.46, 3.549, 3.645, 3.557, 3.672, 3.349, 3.672, 3.6}

2008

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7}

Valores de la media de entradas totales del IUVB por mes en cada estación

{2.75, 3.403, 3.899, 3.972, 4.035, 3.882, 2.735}

2009

{2, 3, 11, 12}

{3.275, 3.902, 2.489, 2.328}

2010

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12}

{2.603, 3.149, 3.754, 3.876, 3.811, 3.739, 3.039, 3.383, 3.479, 3.616, 2.399}

2011

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12}

{2.697, 3.222, 3.752, 3.926, 4.023, 4.172, 3.875, 2.927, 2.611}

2014

{4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{3.788, 4.042, 4.072, 3.382, 3.526, 3.271, 2.876, 2.435, 2.152}

2015

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.401, 2.879, 3.157, 3.452, 3.488, 3.272, 3.26, 3.348, 3.004, 2.719, 2.469, 1.998}

2016

{1, 2, 3, 4, 5, 6}

{2.055, 2.825, 3.228, 3.317, 3.552, 3.003}

2017

{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{3.977, 4.285, 3.959, 4.256, 3.765, 3.958, 3.525, 3.258, 3.118, 2.444}

2018

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.476, 3.313, 3.83, 3.777, 4.275, 3.571, 4.117, 4.07, 3.604, 3.031, 3.522}

2020

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}

{2.79, 3.637, 4.362, 4.301, 4.023, 4.521, 4.153, 3.995, 3.709}

Pedregal

2000

{1, 4, 5, 6, 7, 8, 9}

{1.979, 4.401, 3.207, 2.976, 3.149, 2.632, 2.915}

2001

{8, 9, 10, 11, 12}

{3.363, 3.315, 2.903, 2.591, 2.143}

2002

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.672, 2.952, 4.233, 3.914, 3.465, 3.141, 2.781, 3.08, 2.819, 2.774, 2.565, 2.3}

Valores de la media de entradas totales del IUVB por mes en cada estación

2003

{1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{1.771, 2.792, 2.902, 3.056, 3.53, 3.074, 3.135, 2.799, 2.818, 2.677, 2.105}

2004

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.492, 3.484, 3.911, 4.021, 3.212, 2.894, 2.906, 3.232, 2.744, 2.404, 2.609, 2.216}

2005

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.2, 2.645, 3.641, 3.404, 2.917, 3.03, 3.143, 2.862, 3.061, 2.593, 2.621, 2.084}

2006

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.262, 2.993, 3.52, 3.667, 3.4, 3.271, 2.765, 2.858, 2.733, 2.42, 2.009, 1.905}

2007

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8}

{2.511, 3.65, 3.643, 3.397, 3.47, 3.5, 3.604, 3.807}

2009

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}

{3.273, 3.518, 3.956, 4.108, 3.777, 3.464, 3.625, 3.768, 3.147}

2011

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.808, 3.087, 3.668, 3.899, 3.651, 3.077, 2.796, 3.744, 3.653, 3.1, 2.459, 2.226}

2012

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.521, 2.965, 3.547, 3.457, 3.501, 3.163, 3.08, 3.007, 3.223, 3.543, 2.642, 2.546}

2013

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.67, 3.726, 3.784, 3.782, 3.395, 3.487, 3.251, 3.321, 2.779, 2.843, 2.392, 2.304}

2014

{1, 2, 3, 4, 5}

{2.424, 3.166, 3.814, 3.862, 3.336}

2016

{5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{3.914, 3.813, 3.86, 3.815, 3.577, 3.429, 2.712, 3.191}

2017

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{3.215, 3.834, 4.636, 4.72, 3.688, 4.189, 3.534, 3.71, 3.266, 3.124, 3.383, 2.816}

2018

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.478, 3.375, 4.059, 3.84, 3.629, 3.927, 4.175, 3.745, 3.787, 3.286, 3.133, 3.316}

Valores de la media de entradas totales del IUVB por mes en cada estación

2020

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.624, 3.59, 4.345, 4.077, 3.653, 4.159, 3.911, 3.516, 3.161, 3.908, 3.362, 2.489}

2021

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{3.012, 3.926, 4.345, 3.765, 4.035, 3.382, 3.716, 3.591, 3.395, 3.302, 2.955, 2.648}

2022

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12} {2.74, 3.63, 4.343, 4.089, 4.116, 3.733, 3.552, 3.453, 3.124, 3.005, 2.811, 2.467}

Montecillo

2000

{4, 5, 6, 7, 10, 11, 12}

{3.889, 3.11, 3.077, 3.569, 2.844, 2.51, 2.1}

2001

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.367, 2.922, 3.779, 3.512, 3.577, 3.141, 3.505, 3.52, 3.517, 3.139, 2.646, 2.093}

2002

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.501, 3.152, 4.182, 4.126, 3.927, 3.593, 3.305, 3.416, 3.199, 3.128, 2.805, 2.403}

2003

{1, 2, 3, 4, 5, 7, 8}

{2.298, 3.606, 3.703, 3.346, 3.912, 3.554, 3.744}

2004

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.655, 3.49, 4.057, 4.276, 4.038, 3.709, 3.415, 3.609, 3.727, 2.925, 2.855, 2.297}

2005

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.414, 2.976, 3.732, 4.284, 3.544, 3.578, 3.777, 3.576, 3.545, 3.063, 2.636, 2.22}

2006

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.021, 2.504, 2.975, 3.307, 4.294, 4.26, 3.662, 3.285, 3.487, 2.983, 2.695, 1.953}

2007

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.372, 3.406, 3.274, 3.578, 3.856, 3.839, 3.673, 3.469, 3.38, 3.37, 3.159, 2.569}

2008

{2, 3, 4, 5, 6, 7}

{3.492, 3.819, 3.929, 3.615, 3.543, 2.94}

2009

{5, 6, 7, 12}

Valores de la media de entradas totales del IUVB por mes en cada estación

{4.563, 4.02, 3.769, 2.628}

2010

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.594, 3.042, 4.719, 4.362, 3.845, 3.504, 2.943, 3.478, 3.472, 3.436, 2.799, 2.102}

2011

{1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.631, 3.249, 3.423, 3.757, 3.949, 3.425, 2.887, 2.42}

2012

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.558, 2.986, 3.74, 3.945, 3.876, 3.475, 3.388, 3.392, 3.617, 3.476, 2.56, 2.491}

2013

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7}

{2.968, 4.093, 4.072, 4.138, 3.975, 3.795, 3.488}

2014

{4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{3.529, 3.599, 3.679, 3.668, 4.055, 3.656, 3.607, 3.266, 2.677}

2015

{1, 2, 3}

{3.071, 3.634, 4.348}

2016

{5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{4.436, 3.981, 3.743, 3.904, 3.52, 3.363, 2.731, 2.637}

2017

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.514, 3.117, 3.557, 4.001, 3.898, 4.241, 3.57, 4.036, 3.575, 3.425, 3.163, 2.45}

2018

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.523, 3.398, 4.001, 4.003, 4.639, 4.017, 3.822, 4.01, 4.177, 3.985, 3.657, 3.771}

2020

{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}

{2.937, 4.009, 4.221, 4.115, 4.106, 4.313, 3.749, 3.586, 3.14, 3.778, 3.164, 2.489}

2022

{9, 10, 11, 12}

{3.345, 3.003, 2.743, 2.203}

Bibliografía

- [1] D. A. Hernández-Dominguez et al., “La mortalidad por melanoma en México aumenta,” *Rev. Esp. Méd. Quir.*, vol. 23, pp. 123-129, 2018.
- [2] P. Croché Bachbush, A. L. Hernández Espinosa, and R. Rejón Basañez, “NM-52-MS-MA Incidencia de melanoma en la CDMX,” Instituto Thomas Jefferson campus Zona Esmeralda, Expociencias Nacional 2019. [Online]. Available: <https://expociencias.com.mx/ver-19/project/nm-52-ms-ma-incidencia-de-melanoma-en-la-cdmx/>. [Accessed: Feb. 22, 2025].
- [3] NASA, “Datos sobre el Sol,” NASA Ciencia. [Online]. Available: <https://ciencia.nasa.gov/datos-sobre-el-sol/>. [Accessed: Feb. 22, 2025].
- [4] B. L. Diffey, “Sources and measurement of ultraviolet radiation,” *Methods*, vol. 28, no. 1, pp. 4-13, 2002, doi: 10.1016/S1046-2023(02)00204-9.
- [5] E. Mazria, “Energía Solar Pasiva”. Barcelona, Spain: Gustavo Gili, 1983, pp. 17–19.
- [6] R. Roelandts, “Le soleil et la peau de l’enfant. Rayonnement solaire,” *Ann Dermatol Venereol*, vol. 134, pp. 4S7-4S8, 2007.
- [7] G. Butcher, “Tour of the Electromagnetic Spectrum.” Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration, 2016, pp. 20–21.
- [8] C. Bédane and R. Roelandts, “Le soleil et la peau de l’enfant: Rayonnement ultraviolet et effets biologiques,” *Ann Dermatol Venereol*, vol. 134, pp. 4S9-4S11, 2007.
- [9] B. L. Diffey, “Solar ultraviolet radiation effects on biological systems,” *Phys. Med. Biol.*, vol. 36, no. 3, pp. 301–303, 1991.
- [10] M. Dolan, “Seasonal UV Changes and Protecting Our Skin,” Irish Skin Foundation, 16-Aug-2021. [Online]. Available: <https://irishskin.ie/2021/08/16/seasonal-uv-changes-and-protecting-our-skin/>. [Accessed: Jun. 09, 2025].
- [11] Organización Mundial de la Salud, “Radiación ultravioleta,” World Health Organization, [Online]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ultraviolet-radiation>. [Accessed: Feb. 24, 2025].
- [12] “1.1 Nomenclature,” in *Solar and Ultraviolet Radiation*, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, vol. 55, International Agency for Research on Cancer, 1992. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK401588/>. [Accessed: Mar. 1, 2025]. [Accessed: Mar. 1, 2025].

- [13] International Agency for Research on Cancer, "IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Radiation," IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, No. 100D, Lyon, France, 2012. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK304362/>. [Accessed: Mar. 1, 2025].
- [14] CIE, "Erythema reference action spectrum and standard erythema dose," International Commission on Illumination (CIE). [Online]. Available: <https://www.cie.co.at/publications/erythema-reference-action-spectrum-and-standard-erythema-dose-0>. [Accessed: Mar. 1, 2025].
- [15] International Agency for Research on Cancer (IARC), "Exposure to Artificial UV Radiation and Skin Cancer," IARC Working Group Reports, vol. 1, pp. 14-57, 2006.
- [16] V. Fioletov, J. B. Kerr, and A. Fergusson, "The UV Index: Definition, Distribution and Factors Affecting It," *Can. J. Public Health*, vol. 101, no. 4, pp. I5-I9, Jul./Aug. 2010.
- [17] Organización Mundial de la Salud, "Índice UV Solar Mundial: Guía Práctica," Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza, 2003. Available: <http://www.who.int/uv>.
- [18] Gobierno de la Ciudad de México, "Aire en la Ciudad de México," Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire. [Online]. Available: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27ZaBhnmI=&dc=%27aA==>. [Accessed: Mar. 1, 2025].
- [19] T. B. Fitzpatrick, "The validity and practicality of sun-reactive skin types I through VI," *Arch. Dermatol.*, vol. 124, no. 6, pp. 869-871, 1988.
- [20] G. Sánchez and J. Nova, "Confiabilidad y reproducibilidad de la escala de fototipos de Fitzpatrick antes y después de un ejercicio de estandarización clínica," *Biomédica*, vol. 28, no. 4, pp. 544-550, 2008.
- [21] World Health Organization, "Radiation: The known health effects of ultraviolet radiation," Jul. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-the-known-health-effects-of-ultraviolet-radiation>. [Accessed: Mar. 3, 2025].
- [22] E. Mc Cullough, "Optical Radiations in Medicine: A survey of uses, measurement and sources". American Association of Physicists in Medicine, 1977, pp. 2-7. [Online]. Available: <https://www.aapm.org/pubs/reports/detail.asp?docid=2>. [Accessed: Mar. 3, 2025].
- [23] J. M. Carrascosa, "Efectos de la radiación ultravioleta sobre el sistema inmunitario. Implicaciones terapéuticas," *Piel*, vol. 19, no. 6, pp. 306-308, 2004.
- [24] M. E. Martínez-González, "Visual health in Colombia: A look from the National Survey of Visual Health 2014," *Rev. Salud Visual Ocular*, vol. 8, no. 1, pp. 98-99, 2015. [Online]. Available: <https://saludvisual.lasalle.edu.co/article/view/1735/3249>. [Accessed: Mar. 4, 2025].
- [25] G. V. Cruz Salgado, L. A. Fernández de Córdova López, T. D. Fernández de Córdova López, and J. S. Jácome Chica, "Efectos de la radiación ultravioleta en la piel incluyendo envejecimiento prematuro y cáncer. Un artículo de revisión," *Polo del Conocimiento*, vol. 9, no. 12, p. 303, 2023. [Online]. Available: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/8474>. [Accessed: Mar. 5, 2025].

- [26] American Cancer Society, "What is melanoma?" American Cancer Society. [Online]. Available: <https://www.cancer.org/es/cancer/tipos/cancer-de-piel-tipo-melanoma/acerca/que-es-melanoma.html>. [Accessed: Mar. 6, 2025].
- [27] F. de Braud, D. Khayat, B. B. R. Kroon, R. Valdagni, P. Bruzzi, and N. Cascinelli, "Malignant melanoma," *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, vol. 47, no. 1, pp. 35–63, Jul. 2003, doi: 10.1016/S1040-8428(02)00077-X.
- [28] B. K. Armstrong and A. Kricger, "How much melanoma is caused by sun exposure?," *Melanoma Research*, vol. 3, no. 6, pp. 395–401, Dec. 1993. doi: 10.1097/00008390-199312000-00001.
- [29] L. Ha, F. P. Noonan, E. C. De Fabo, and G. Merlino, "Animal models of melanoma," *J. Investig. Dermatol. Symp. Proc.*, vol. 10, no. 2, pp. 86–88, Nov. 2005, doi: 10.1111/j.1087-0024.2005.200409.x.
- [30] J. M. Elwood, "Melanoma and sun exposure: Contrasts between intermittent and chronic exposure," *World J. Surg.*, vol. 16, no. 2, pp. 157–165, Mar./Apr. 1992.
- [31] T. Hocker and H. Tsao, "Ultraviolet Radiation and Melanoma: A Systematic Review and Analysis of Reported Sequence Variants," *Human Mutation*, vol. 28, no. 6, pp. 578–588, 2007, doi: 10.1002/humu.20481.
- [32] A. F. Jerant, J. T. Johnson, C. D. Sheridan, y T. J. Caffrey, "Early detection and treatment of skin cancer," *American Family Physician*, vol. 62, no. 2, pp. 357–368, 375–376, 381–382, Jul. 15, 2000. [Online]. Available: <https://www.aafp.org/pubs/afp/issues/2000/0715/p357.html#afp20000715p357-b18>. [Accessed: Mar. 6, 2025].
- [33] C. M. Balch et al., "Final Version of 2009 AJCC Melanoma Staging and Classification," *Journal of Clinical Oncology*, vol. 27, no. 36, pp. 6199–6206, Dec. 2009, doi: 10.1200/JCO.2009.23.4799.
- [34] Instituto Mexicano del Seguro Social, "IMSS promueve detección temprana del melanoma con regla del ABCDE," Gobierno de México, 20 de mayo de 2024. [Online]. Available: <https://www.gob.mx/imss/prensa/imss-promueve-deteccion-temprana-del-melanoma-con-regla-del-abcde>. [Accessed: 09-Mar-2025].
- [35] T. Bald et al., "Ultraviolet-radiation-induced inflammation promotes angiotropism and metastasis in melanoma," *Nature*, vol. 507, no. 7490, pp. 109–113, Mar. 2014, doi: 10.1038/nature13111.
- [36] M. Arnold et al., "Global burden of cutaneous melanoma attributable to ultraviolet radiation in 2012," *Int. J. Cancer*, vol. 143, no. 6, pp. 1305–1314, 2018, doi: 10.1002/ijc.31527.
- [37] P. Aceituno-Madera, A. Buendía-Eisman, F. J. Olmo, J. J. Jiménez-Moleón, y S. Serrano-Ortega, "Melanoma, altitud y radiación UVB," *Actas Dermo-Sifiliográficas*, vol. 102, núm. 3, pp. 199–205, abr. 2011. [Online]. Available: <https://www.actasdermo.org/es-melanoma-altitud-radiacion-uvb-articulo-S0001731010004709>. [Accessed: Feb. 15, 2025].
- [38] M. Berwick, C. Pestak, and N. Thomas, "Solar Ultraviolet Exposure and Mortality from Skin Tumors," *Advances in Experimental Medicine and Biology*, vol. 810, pp. 342–358, 2014. doi: 10.1007/978-1-4939-0877-2_20.
- [39] C. Fortes, S. Mastroeni, R. Bonamigo, T. Mannooranparampil, C. Marino, P. Michelozzi, F. Passarelli, and M. Boniol, "Can ultraviolet radiation act as a survival enhancer for cutaneous melanoma?" *Eur. J. Cancer Prev.*, vol. 25, no. 1, pp. 34–40, Jan. 2016. [Online]. Available: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4885543/> [Accessed: Apr. 10, 2025].

- [40] J. P. Castanedo-Cázares, B. Torres-Alvarez, B. Portales-González, K. Martínez-Rosales, and D. Hernández-Blanco, “Análisis de la radiación solar ultravioleta acumulada en México,” *Rev. Med. Inst. Mex. Seguro Soc.*, vol. 54, no. 1, pp. 26–31, 2016.
- [41] Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, “Monitoreo de la calidad del aire en la Ciudad de México,” Gobierno de la Ciudad de México. [Online]. Available: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/>. [Accessed: Feb. 13, 2025] [Accessed: Dec. 10, 2024].
- [42] D. A. Hernández-Dominguez, F. Aldaco-Sarvide, G. Cervantes-Sánchez, L. Torrecillas-Torres, and A. M. Balderas, “Mortality Patterns of Melanoma in Mexico over the Last 2 Decades,” *Medical Research Archives*, vol. 10, no. 7, 2022. [Online]. Available: <https://esmed.org/MRA/index.php/mra/article/view/2842>. [Accessed: Dec. 10, 2024].
- [43] Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), “Servicio Meteorológico Nacional (SMN),” Gobierno de México. [Online]. Available: <https://smn.conagua.gob.mx/es/>. [Accessed: Feb. 15, 2025].
- [44] Comisión Nacional del Agua, “Estado del clima en México durante 2020 y perspectivas para 2021,” February 25, 2021. [Online]. Available: <https://www.gob.mx/conagua/prensa/estado-del-clima-en-mexico-durante-2020-y-perspectivas-para-2021>. [Accessed: Feb. 16, 2025].
- [45] Secretaría de Salud, “196. Falta de prevención y detección tardía ocasiona 30 % de fallecimientos en pacientes con melanoma,” May 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.gob.mx/salud/prensa/196-falta-de-prevencion-y-deteccion-tardia-ocasiona-30-de-fallecimientos-en-pacientes-con-melanoma>. [Accessed: Feb. 16, 2025].
- [46] A. B. Lopo, M. H. C. Spyrides, P. S. Lucio, and J. Sigró, “UV Index Modeling by Autoregressive Distributed Lag (ADL Model),” *Atmospheric and Climate Sciences*, vol. 4, no. 2, pp. 323–333, Apr. 2014. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.4236/acs.2014.42033>