



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

LICENCIATURA EN GEOGRAFÍA

**RADIACIÓN ULTRAVIOLETA Y SU RELACIÓN CON LA
MORTALIDAD POR MELANOMA EN MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A

HÉCTOR MIGUEL ÁLVAREZ CRUZ

DIRECTORA DE TESIS

DRA LETICIA GÓMEZ MENDOZA



CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedicado a mis padres

Clara Cruz Díaz

y

José Miguel Álvarez Martínez

“La ciencia se compone de errores, que, a su vez, son los pasos hacia la verdad”

Julio Verne

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Clara Cruz y José Miguel Álvarez; por el amor y apoyo incondicional, por dotarme de herramientas para interpretar y cuestionar la realidad en todo sentido, y alentarme en cada caída. Ustedes son sinónimo de esfuerzo y perseverancia. Gracias por ser los pilares y guías en mi vida. Son mi inspiración, los amo.

A mis hermanas Jessica, Berenice y Guadalupe; por el cariño y apoyo brindado en todo momento, por ser mis eternas acompañantes, ustedes son mi más grande tesoro. Las adoro.

A mi asesora, la Dra Leticia Gómez Mendoza; por defender y expresar el conocimiento científico, ejercer la docencia con dedicación y profesionalismo. Gracias por hacerme parte de las reflexiones expuestas en el "Seminario Clima, Biodiversidad y Salud (Clave: SEM 01_007_2019)" de la Facultad de Filosofía y Letras, UNAM; y por darme la oportunidad de aprender y enseñar como profesor adjunto en la materia de "Climatología II", fue una odisea que jamás olvidaré.

En el ámbito personal siempre estaré agradecido por la confianza que me ha brindado y por haber creído en mí. Gracias Dra por enseñarme que las inseguridades y miedos pueden ser nuestros acompañantes, pero no nuestros aliados.

Al Dr Rodolfo Acuña Soto por la confianza y apoyo brindado, por ceder la base de datos de "Mortalidad por melanoma en México" la cual hizo posible esta investigación; y al Dr David Zermeño Díaz por cada comentario y crítica, sin sus aportes esta investigación carecería de sentido científico.

A mis sinodales; Dra Leticia Gómez Mendoza, Dra Elda Luyando López, Dra María del Carmen Juárez, Dr Rodolfo Acuña Soto y Dr David Zermeño Díaz por el tiempo dedicado en la lectura de esta investigación y los comentarios realizados, los cuales enriquecieron este trabajo.

A Daniel Morales; por las asesorías, comentarios, tiempo y dedicación invertido en esta investigación, sin duda, tus observaciones ayudaron a estructurar este trabajo. Pero, sobre todo, gracias por tu amistad y confianza que me haz expresado en cada plática y proyecto desempeñado. Gracias por todos los momentos que hemos pasado.

A Aranxa Galicia; por alentarme a superar cada obstáculo, jamás olvidaré que fuiste la pionera en mis sueños. Gracias por enseñarme a ser mejor persona y entender la vida.

A mis cómplices y amigos; Jorge Mendoza, Diego Varela, Javier Gonzáles, Arturo Rodríguez, Cristóbal Garrido, Ricardo Carrillo y Patricia Arias; gracias por su amistad, espero que recorramos juntos esta vida; una parte de mi persona se llena y se explica con su presencia.

A los Geoamigxs; Fernando Velázquez, Cassandra Álvarez, Rosa Mendoza, Ximena Arceo, Tania Estrada, Narda Contreras, Andrea Mancera, Corenelli Álvarez, Patricia Ciriaco, Laura Ramos, Laura Chavarría, Juan Solorzano, Oswaldo Medina, Guillermo Reina; por todas las

aventuras y anécdotas que formamos juntos en cada viaje y fiesta, sin duda siempre hay una historia a su lado.

Al equipo de fútbol Geogallos F.C., fui miembro fundador y disfrute cada partido sin importar el marcador, fueron momentos que siempre recordaré. Gracias por compartir esta pasión a mi lado.

A mis amigos de otras generaciones; Daniel Morales, Carlos Serrano, Víctor Bazán y Emmanuel Álvarez, por compartirme su conocimiento, confianza y apoyo en todo proyecto profesional. Gracias por todos los momentos de diversión que pasamos juntos.

A la Mtra. Marisa Rico Bocanegra; por abrirme las puertas del Instituto de Investigaciones Bibliotecológicas. Gracias por acercarme a los libros y a los mapas históricos.

A mis amigos bibliotecólogos; Abril Gaytán, Isa Cruz, Mitsue Shiba, Rodrigo Castillo, Brayan Figueroa, Miguel Guerrero, Tirso Javier e Iván Valle, por defender y resaltar la ciencia de la información. Cambiarme de carrera fue una decisión difícil, sin embargo, me dejo amistades y personas increíbles. Ese año a su lado lo disfrute al máximo, gracias por los momentos compartidos y fusionarse con los geógrafos, fue una convivencia bastante amena.

A mis amigos de la infancia; Osmar Ibarra y Jorge Carcaño, gracias por crecer a mi lado y curarnos las heridas juntos, son incondicionales. Ustedes son mis hermanos de elección, espero recorrer la vida a su lado.

Al equipo SIG SOFTEC; Maribel Blancas, Juan de Dios Gutiérrez, Marco Barriga y Arturo Rodríguez, por la confianza y compartir su conocimiento sin interés. En especial a Maribel Blancas, por la flexibilidad y comentarios para desarrollar esta investigación, sin tu apoyo el proceso de este trabajo se hubiera complicado.

Por último, a la Facultad de Filosofía y Letras, por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de recibir conocimiento. A la Biblioteca Central por ser mi refugio. A la Universidad Nacional Autónoma de México porque a través de ella tuve la oportunidad de recibir educación superior pública y gratuita; a la sociedad en general, porque gracias a sus contribuciones pude formarme profesionalmente

ÍNDICE GENERAL

ABSTRACT	1
RESUMEN.....	2
I. INTRODUCCIÓN	3
II. Planteamiento del problema.....	5
III. Justificación.....	7
IV. Hipótesis.....	8
V. Preguntas de investigación	8
VI. Objetivos.....	9
VI.I Objetivo general	9
VI.II Objetivos particulares	9
CAPÍTULO 1. RADIACIÓN ULTRAVIOLETA Y MORTALIDAD POR MELANOMA EN MÉXICO.....	10
1.1 Radiación solar	10
1.2 Instrumentos de radiación solar	12
1.3 Factores que influyen en la radiación solar	13
1.4 Efectos en el sistema Tierra.....	14
1.5 Espectro electromagnético.....	18
1.6 Radiación ultravioleta y atmósfera.....	20
1.7 Radiación ultravioleta B.....	24
1.8 Índice Ultravioleta (IUV).....	27
1.9 Exposición a la radiación y cáncer de piel.	32
CAPITULO 2. METODOLOGÍA	42
2.1 Datos	42
2.1.1 Mortalidad por melanoma.....	44
2.1.2 Radiación Ultravioleta.....	45
2.1.3 Cobertura de nubes.....	46
2.1.4 Altura de nubes.....	47
2.2 Métodos	48
2.4 Normalización de los datos.....	52
2.5 Relaciones espaciales.....	52
CAPITULO 3. RESULTADOS.....	56
3.1 Estacionalidad de la radiación UV	56

3.2 Cobertura nubosa.....	62
3.3 Estacionalidad de altura de nubes	65
3.4 Tendencias de casos de melanoma a escala nacional	71
3.5 Distribución espacial de mortalidad por melanoma a nivel estatal	76
3.6 Distribución espacial de mortalidad por melanoma a nivel municipal	86
3.7 Susceptibilidad climática al melanoma	100
DISCUSIÓN.....	102
CONCLUSIONES.....	106
REFERENCIAS	111
ANEXOS	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- Esquema general del espectro electromagnético. Rodríguez y Rovira (1998).....	18
Figura 1.2.- Absorción UV en la atmósfera. Florencia (2018).....	19
Figura 1.3.- Sistema de protección solar. Organización Mundial de la Salud (2013).....	29
Figura 1.4.- Fototipo de piel promedio en México. INEGI (2016).....	31
Figura 1.5.- Estructura general de la piel. American Cancer Society (2011).....	34
Figura 2.1.- Esquema general metodológico.....	43
Figura 3.1.- Promedio de radiación ultravioleta en primavera 1980-2004.....	57
Figura 3.2.- Promedio de radiación ultravioleta en verano 1980-2004.....	58
Figura 3.3.- Promedio de radiación ultravioleta en otoño 1980-2004	59
Figura 3.4.- Promedio de radiación ultravioleta en invierno 1980-2004.....	60
Figura 3.5.- Promedio estacional de radiación ultravioleta en primavera 1980-2004.....	61
Figura 3.6.- Promedio de cobertura de nubes 1980-2015.....	63
Figura 3.7.- Promedio de altura de nubes en primavera 1982-2015.....	66
Figura 3.8.- Promedio de altura de nubes en verano 1982-2015.....	67
Figura 3.9.- Promedio de altura de nubes en otoño 1982-2015.....	68
Figura 3.10.- Promedio de altura de nubes en invierno 1982-2015.....	69
Figura 3.11.- Promedio estacional de altura de nubes 1982-2015.....	70
Figura 3.12.- Total de casos de mortalidad por melanoma para México en el período de 1980-2015.....	71
Figura 3.13.- Total de casos de mortalidad por melanoma para México por sexo y grupos de edad.....	72
Figura 3.14.- Tasa nacional quinquenal de mortalidad por melanoma para México de acuerdo con la población total 1980-2015.....	74
Figura 3.15.- Relación de número total de casos por mortalidad a nivel municipio y altitud. Elaboración propia.....	75
Figura 3.16.- Tasa estatal de mortalidad por melanoma en el año 1980.....	77
Figura 3.17.- Tasa estatal de mortalidad por melanoma en el año 1985.....	78
Figura 3.18.- Tasa estatal de mortalidad por melanoma en el año 1990.....	79
Figura 3.19.- Tasa estatal de mortalidad por melanoma en el año 1995.....	80
Figura 3.20.- Tasa estatal de mortalidad por melanoma en el año 2000.....	81
Figura 3.21.- Tasa estatal de mortalidad por melanoma en el año 2005.....	82
Figura 3.22.- Tasa estatal de mortalidad por melanoma en el año 2010.....	83

Figura 3.23.- Tasa estatal de mortalidad por melanoma en el año 2015.....	84
Figura 3.24.- Tasa promedio de mortalidad por melanoma 1980-2015.....	85
Figura 3.25.- Tasa municipal de mortalidad por melanoma en el año 1980.....	87
Figura 3.26.- Tasa municipal de mortalidad por melanoma en el año 1985.....	88
Figura 3.27.- Tasa municipal de mortalidad por melanoma en el año 1990.....	89
Figura 3.28.- Tasa municipal de mortalidad por melanoma en el año 1995.....	90
Figura 3.29.- Tasa municipal de mortalidad por melanoma en el año 2000.....	91
Figura 3.30.- Tasa municipal de mortalidad por melanoma en el año 2005.....	92
Figura 3.31.- Tasa municipal de mortalidad por melanoma en el año 2010.....	94
Figura 3.32.- Tasa municipal de mortalidad por melanoma en el año 2015.....	95
Figura 3.33.- Tasa promedio de mortalidad por melanoma 1980-2015.....	97
Figura 3.34.- Susceptibilidad climática al melanoma.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Categorías de exposición e intervalo de valores ultravioleta.....	28
Tabla 1.2: Clasificación de tipos de piel (adaptado de Fitzpatrick y Bologna, 1995).....	30
Tabla 2.1: Matriz ponderada.....	53
Tabla 2.2: Clasificación de rangos.....	54
Tabla 3.1: Clasificación de tipos de nube de acuerdo con la altura. (Cohn, 2017).....	64

ABSTRACT

Excessive exposure of human skin to ultraviolet radiation can cause damage and an increased chance of melanoma skin cancer. In Mexico, the incidence of this cancer has increased over the past thirty years and a risk factor is high ultraviolet radiation values, even though there are biological, social and cultural factors that influence people's vulnerability to contract melanoma. In our country there are few studies that explain the UV-melanoma radiation ratio. The objective of this study was to develop a spatiotemporal diagnosis of UV-melanoma radiation ratio nationally during the period 1980-2015. Space UV radiation databases obtained through NASA GSFC NIMBUS7 and EPTOMS satellite data were used. In addition, melanoma mortality data were obtained in Mexico from the National Health Information System (SINAIS) and Directorate General of the Civil (DGRCIVIL). From the perspective of Medical Geography and using techniques in Geographic Information Systems and Statistical Modeling, the spatial distribution at the national level of UV radiation was identified. The UV value was related to the total number of cases of death from melanoma and mortality rates at the state and municipality level in the country. The results indicate that the highest presence of melanoma mortality occurs mainly in the regions of the Neovolcanic Belt, the Central Plateau and the Pacific Coastal Plain.

RESUMEN

La exposición excesiva de la piel humana a la radiación ultravioleta puede causar daño y un aumento en la probabilidad de contraer cáncer de piel del tipo melanoma. En México la incidencia de este cáncer ha aumentado en los últimos treinta años, y un factor de riesgo son los altos valores de radiación ultravioleta, no obstante que existen factores biológicos, sociales y culturales que influyen en la vulnerabilidad de las personas a contraer melanoma. En nuestro país existen pocos estudios que expliquen la relación radiación UV-melanoma. El objetivo de este estudio fue elaborar un diagnóstico espaciotemporal de la relación radiación UV-melanoma a escala nacional durante el período 1980-2015. Se utilizaron bases de datos espaciales de radiación UV obtenidos a través de datos satelitales de NASA GSFC NIMBUS7 y EPTOMS. Adicionalmente se obtuvieron los datos de mortalidad por melanoma en México del Sistema Nacional de Información en Salud (SINAIS) y Dirección General del Registro Civil (DGRCIVIL). Desde la perspectiva de la Geografía Médica y mediante técnicas en Sistemas de Información Geográfica y modelación estadística, se identificaron la distribución espacial a escala nacional de radiación UV. El valor de UV se relacionó con el número total de casos de muerte por melanoma y con las tasas de mortalidad a nivel de estados y municipios del país. Los resultados indican que la mayor presencia de mortalidad por melanoma se presenta, principalmente, en las regiones del Eje Neovolcánico, la Mesa Central y la Llanura Costera del Pacífico.

I. INTRODUCCIÓN

Los cambios en los patrones climáticos afectan directamente a la salud de los seres humanos, pues estos se reflejan en el aumento de casos de morbilidad y mortalidad. Desde el enfoque geográfico es importante analizar y ubicar los patrones de ocurrencia de las enfermedades en el tiempo y espacio, ya que los factores ambientales, así como las características socioeconómicas y genéticas de la población, históricamente han influido en el surgimiento, distribución y desarrollo de enfermedades.

En la actualidad la interpretación e investigaciones de la espacialidad en el contexto de la Geografía Médica, exige conocimiento geográfico multidisciplinario; por ello los estudios espaciales en salud han incorporado metodologías y técnicas que apoyan el análisis y comportamiento de diversos eventos epidemiológicos. La multidisciplina permite entender la dinámica del proceso salud-enfermedad con el medio ambiente, e identifica las posibles acciones sociales para disminuir o eliminar los riesgos en salud, asimismo proporciona información para la toma de decisiones en políticas de salud pública.

La radiación ultravioleta (UV) es una de las principales amenazas ambientales para el cuerpo humano. En años recientes, los problemas biológicos, ecológicos y fisicoquímicos producidos por este tipo de radiación solar, han suscitado un interés considerable en profundizar su estudio, por esta razón se ha hecho énfasis en prevenir la exposición prolongada a la luz solar para evitar daños a la salud.

Zkik y Berdeaux (2015) exponen, que en México la incidencia de melanoma maligno ha aumentado en los recientes años y el papel de la radiación ultravioleta (UV) en el proceso de esta enfermedad está establecido como factor principal. De acuerdo con Alfaro-Sánchez *et al.*, (2016) la Organización Mundial de la Salud estima que la incidencia de cáncer de piel se triplicó en las últimas dos décadas y estiman 160,000 nuevos casos de melanoma maligno en todo el mundo. En Estados Unidos, el riesgo de padecer melanoma a lo largo de la vida en 1935 era de 1 por cada 1,500 personas y en 2010 era de 1 por cada 39 personas. De la misma manera, menciona que en Europa la incidencia se ha incrementado 3 por ciento desde hace 20 años, y el grupo más afectado, en general, son las personas mayores de 50 años; en Australia y Nueva Zelanda se registra la mayor incidencia en las dos últimas décadas.

En México se desconoce la verdadera incidencia del melanoma, pero se tienen algunos datos de publicaciones académicas y subregistros institucionales; sin embargo, hay grandes variaciones en las series publicadas. Pinedo *et al.*, (2009) expresan que algunas razones de estas variaciones de información son: a) que existen pocos programas nacionales para el estudio y la prevención del cáncer de piel, b) que la mayoría de los casos de cáncer de piel se diagnostican sin confirmación histopatológica (examen descriptivo tumoral de células y tejidos); y por lo tanto no se registran, lo cual podría causar que las cifras oficiales a nivel nacional no reflejen lo que pasa realmente en el país.

En los últimos años, los tumores de piel son el tipo más frecuente de neoplasias (formación tumoral) humanas, su origen es multifactorial, sin embargo, los agentes ambientales son los principales responsables en desencadenar cambios biológicos en el cuerpo humano. El mayor factor de riesgo es la exposición excesiva y sin protección a la luz solar ultravioleta (Alfaro-Sánchez *et al.*, 2016) por lo que es indispensable que todo el personal de salud, así como la población en general, conozca su incidencia a través del tiempo y pueda tomar medidas adecuadas, con miras a crear una cultura de protección ante los efectos de la radiación solar.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (2013) la cantidad de radiación UV que llega a la superficie de la Tierra depende del tiempo y la ubicación (altitud y longitud), es decir, el ángulo solar y de varios parámetros meteorológicos más como el ozono total, la cantidad de nubes, tipos de nubes, los aerosoles y el albedo de la superficie. La intensidad con la que los rayos UV llegan a la superficie de la Tierra varía de acuerdo con la hora del día, estacionalidad, distancia desde el Ecuador o zonas intertropicales, altitud y reflejo en las superficies, son algunas variantes que condicionan el impacto de los tres principales tipos de rayos UV y las radiaciones electromagnéticas con longitudes de onda entre 100 y 400 nanómetros (nm) (OMS, 2013).

Medhaug *et al.*, (2009) recalcan, que desde comienzos de la década de 1980 han aumentado los estudios sobre la radiación UV, debido al fuerte agotamiento del ozono estratosférico, especialmente sobre la Antártida durante la primavera austral. Un agotamiento general del ozono también se encontró en el Ártico y en las latitudes medias. Según mencionan dichos autores, con la disminución del ozono estratosférico se observó un aumento de la radiación UV en el suelo.

También, Medhaug *et al.*, (2009) expresan que, para las plantas y los animales, los cambios en el nivel UV pueden causar cambios en la producción primaria y en la composición de especies, pero para los seres humanos, el aumento de UV puede causar daño a los ojos y al sistema inmunológico, y alterar la probabilidad de cáncer de piel.

En nuestro país, la medición de la radiación ultravioleta debería considerarse como una prioridad ambiental debido a las implicaciones en la salud de la población, sin embargo, existen escasos trabajos que proporcionen información sobre este problema.

Los autores que han desarrollado este tipo de relación en nuestro país son Alfaro-Sánchez, *et al.*, (2016) los cuales realizaron una revisión retrospectiva de la incidencia y las variedades histológicas del cáncer de piel del Departamento de Patología del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para los Trabajadores del Estado (ISSSTE) del estado de Nuevo León, en los años de 2008 a 2012; Castanedo-Cázares *et al.*, (2016) estimaron la intensidad UV por medio de datos satelitales y en superficie, la dosis UV promedio anual y el beneficio potencial de la aplicación de un filtro solar a diferentes edades en la ciudad de San Luis Potosí para el año de 2012 y Pinedo *et al.*, (2009) determinaron la incidencia de cáncer de piel en el estado de Zacatecas por la exposición prolongada a radiación UV como consecuencia de la ubicación geográfica del estado, sus altos niveles de radiación solar y los cambios en los hábitos socio-culturales, durante el período comprendido entre 1998 y 2007.

II. Planteamiento del problema

La Organización Mundial de la Salud (OMS) (2013), enfatiza que el cáncer de piel es el más frecuente en los seres humanos y estima que cada año se diagnostican dos millones de nuevos casos en todo el mundo y mueren aproximadamente 66,000 personas por causa de éste y otros tipos de cáncer de piel. Asimismo, la OMS, menciona que entre 50 y 90 por ciento de los cánceres de piel son causados por la radiación ultravioleta, en donde la exposición al sol de forma prolongada y sin protección es uno de los principales factores que generan esta enfermedad.

En México, de acuerdo con la Federación Mexicana para la Dermatología (FMD) (2014) el cáncer de piel ocupa el sexto lugar de frecuencia, detrás de otros tipos de cáncer como el de pulmón, mama, colorrectal, próstata y estómago. Otro rasgo característico de este

tipo de cáncer es que existe mayor predominancia en hombres que en mujeres en grupos de edad que van de los 45 a 70 años. Además, en los últimos 10 años en el país se incrementó un 20 por ciento en jóvenes menores de 35 años y con mayor presencia en mujeres.

En nuestro país cada año se registran 16 mil nuevos casos de cáncer en la piel, cifras que expone la Federación Mexicana para la Dermatología (2014). Las características físico-geográficas de la República Mexicana favorecen el impacto con mayor intensidad de los rayos ultravioleta, ya que este tiene características heterogéneas en su relieve y una posición intertropical. Según los datos de *La guía del índice solar mundial* publicada por la Organización Mundial de la Salud (2013), por cada mil metros de incremento de la altitud, la intensidad de la radiación UV aumenta en un 10 por ciento a 12 por ciento. También se destaca que mientras más cerca del Ecuador se encuentre una población, los rayos solares inciden más verticalmente y por lo tanto se presenta una mayor radiación sobre la superficie.

La exposición prolongada puede modificar de manera importante células y tejidos del cuerpo humano; Bélanger *et al.*, (2009) refieren que los niveles de ultravioleta (UV) y las temperaturas máximas del día de verano se relacionan con la prevalencia de cáncer de piel (melanoma) y no melanoma, además de cataratas en los ojos. Por otro lado, el incremento de la temperatura en países con climas templados puede generar un aumento en el tiempo que las personas pasan al aire libre y conducen efectos adversos adicionales inducidos por la UV.

No obstante que existen estudios regionales sobre los casos de melanoma en México, son escasos los trabajos que los relacionen con valores de la radiación UV y los factores geográficos asociados.

Los estudios multidisciplinarios en el contexto de la Geografía Médica proporcionan una comprensión espacial de la salud de la población, la distribución de las enfermedades en un área, y el efecto del ambiente sobre la salud y la enfermedad (Cuéllar y Gutiérrez, 2014). Es necesario identificar los patrones de distribución espacial, causas y efectos de la radiación UV en México para generar un diagnóstico y dar debida atención a este problema de salud por el posible aumento en el número de casos.

III. Justificación

La radiación solar que llega a la superficie de la Tierra es la principal fuente de energía en nuestro planeta y se compone de 5 elementos: a) radiación directa (procedente en línea recta desde el sol), b) radiación difusa (procedente de todas direcciones, salvo del sol), c) radiación global (suma de radiación directa y difusa), d) radiación UV (porción más energética del espectro electromagnético) y e) albedo (radiación reflejada por la superficie terrestre). Diferentes rangos espectrales de radiación solar son responsables de desencadenar varios procesos físicos y biológicos, que son importantes para el equilibrio de los ecosistemas que componen la variedad de climas y biodiversidad (Valdés-Barrón *et al.*, 2013).

Según Quiñones y Almanza (2014), el aumento progresivo de la radiación UV que llega a la superficie de la Tierra ha ocasionado preocupación por el tiempo de exposición a la luz solar entre la población, ya que a mayor tiempo de exposición puede aumentar el riesgo a la salud humana. Los esfuerzos por estudiar los efectos de la radiación UV en la salud y en el medio ambiente han aumentado sobre todo en EUA, Inglaterra, España, Australia, Nueva Zelanda, Países Bajos, Chile y Noruega.

De acuerdo con la Federación Mexicana para la Dermatología (2014) el cáncer de piel ya es un problema de salud pública pues menos del 30 por ciento de la población se protege del sol y un 50 por ciento se expone demasiado a la luz solar en horas de mayor radiación. La mayoría de la población desconoce en su totalidad los graves daños que esta radiación ocasiona en el cuerpo humano, pues el melanoma es uno de los tipos de cáncer con tendencia creciente; y las razones epidemiológicas se atribuyen principalmente a la radiación ultravioleta (Liu-Smith y Ziogas, 2017).

A pesar de esto, en México, se desconoce la distribución espacial de casos de mortalidad por melanoma y su distribución temporal en los últimos años. Tampoco se sabe si existe relación entre los valores de radiación UV y su distribución espacial en el país, con el número de casos de mortalidad a nivel municipal. Por lo tanto, el presente estudio de la distribución de la radiación ultravioleta y cobertura nubosa en México permitirá entender esta relación de causa-efecto y proporcionará un contexto de las prioridades en temas de salud y educación ambiental, además de tratar de ser una herramienta de prevención, control y mitigación de enfermedades multitemporal y espacial.

IV. Hipótesis

La incidencia y mortalidad por melanoma es multifactorial, puede obedecer a características de la población, por ejemplo, lugar de residencia, tiempo de exposición a la radiación solar ultravioleta, actividad económica desempeñada, edad, sexo, color de piel y también a características físicas del territorio. Sin embargo, la variación temporal y espacial de los valores altos de radiación ultravioleta y escasa nubosidad son elementos importantes para su desarrollo. Por ello, se espera que la distribución de casos de mortalidad por melanoma en México esté asociada, principalmente por factores climáticos, además de la vulnerabilidad de la población según sus características bio-sociodemográficas.

V. Preguntas de investigación

Actualmente el estudio estadístico de la distribución espacial de las morbilidades y mortalidades es una aproximación básica a sus posibles causas. En este contexto, esta investigación pretende dar respuesta a las siguientes preguntas:

¿Cuál es la distribución geográfica del número de casos de mortalidad por melanoma en México? y ¿Cuál es la relación entre la intensidad de radiación ultravioleta y el número de casos de mortalidad por melanoma?.

VI. Objetivos

VI.I Objetivo general

Calcular la relación espacial entre radiación ultravioleta (UV) y el número de casos de mortalidad por melanoma en México, a través de la modelación estadística e incidencia espacial.

VI.II Objetivos particulares

- 1.- Describir el efecto de la radiación ultravioleta (UV) y de la cobertura de nubes en el número de casos de mortalidad por melanoma.
- 2.-Cartografiar la distribución de mortalidad por melanoma para México.
- 3.- Identificar umbrales espaciotemporales de mortalidad de dicha enfermedad en México.

CAPÍTULO 1. RADIACIÓN ULTRAVIOLETA Y MORTALIDAD POR MELANOMA EN MÉXICO

1.1 Radiación solar

El sol es la fuente principal de energía en la Tierra. De acuerdo con Velázquez (2007), el sol desprende materia en forma de ondas de energía electromagnética y partículas de luz proporcionadas por las reacciones de hidrógeno en su núcleo por fusión nuclear y emitida por la superficie solar. Esta emisión de energía es constante y fundamental porque representa casi toda la energía que dispone y sostiene a la Tierra.

Breve historia de medición de radiación solar en México

Las mediciones de radiación solar son de gran importancia para diversos sectores de la ciencia y sociedad, Valdés-Barrón *et al.*, (2013) mencionan que es un factor esencial para la existencia de procesos químico-biológicos que desarrollan distintas formas de vida en nuestro planeta. Además, los distintos flujos de radiación que van desde y hacia la superficie de la Tierra establecen su balance de calor en su totalidad, lo cual permite la composición climatológica y ecosistémica en nuestro planeta.

Conocer con precisión la climatología solar de México durante las últimas décadas ha sido una tarea difícil, según Valdés-Barrón *et al.*, (2014) la evaluación de la radiación solar en México fue iniciada por el Dr. Ladislao Gorczyński, el cual hizo mediciones en diferentes lugares del país entre 1911 y 1917. Años posteriores, entre 1923 y 1928, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) continuó este trabajo en el Observatorio Astronómico de Tacubaya.

Valdés-Barrón *et al.*, (2014) refieren que, en el año de 1957, por la conmemoración del año Geofísico Internacional, el Instituto de Ciencias Aplicadas y el Instituto de Geofísica, ambos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) reiniciaron las mediciones. Se instalaron cinco estaciones solarimétricas en: Ciudad Universitaria (campus principal de la UNAM, Ciudad de México); Altzomoni, Estado de México; San Cristóbal de las Casas, Chiapas; Veracruz, Veracruz; y Chihuahua, Chihuahua. Sin embargo, en el año de 1959 la estación el Altzomoni fue trasladada a Tlamacas, Estado de México. Además, agrega que en 1960 se instaló una estación en la ciudad de San Luis Potosí. De estas estaciones

originales, sólo dos operaron por un largo período de tiempo: Chihuahua, por quince años, y Ciudad Universitaria, que todavía está en funcionamiento. Para el año de 1967, el Instituto de Geofísica de la UNAM comenzó a operar una estación en Orizabita, Hidalgo, que también continúa en operación hasta la fecha.

De tal manera, los datos históricos a largo plazo disponibles para México son de tres estaciones: Ciudad Universitaria, Chihuahua y Orizabita. En los últimos años han existido esfuerzos por instalar redes de estaciones meteorológicas, de las cuales algunas han tenido sensores de radiación solar. Valdés-Barrón *et al.*, (2014) mencionan que el organismo principal implicado ha sido el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), ya que en la década de los años setenta, instaló pirógrafos y heliografías en unas sesenta estaciones meteorológicas de su red. Sin embargo, los pirógrafos no se recalibraron sistemáticamente y no se procesó la información.

En los años ochenta, Valdés-Barrón *et al.*, (2014) destacan que la Comisión Federal de Electricidad (CFE) creó una red solarimétrica con veinte estaciones equipadas con pirógrafos, situadas en la cuenca de México. Esta red no tenía programas de calibración o de procesamiento de información, por lo cual no se sabe si los sensores de radiación solar eran realmente calibrados. En la primera década del siglo XXI, el SMN instaló una red con 133 estaciones meteorológicas automáticas (EMAS), con transmisión en tiempo real de datos cada diez minutos; estas estaciones tienen un piranómetro para medir la radiación solar global horizontal, pero no se tiene validación de la información generada.

En años recientes, en nuestro país, la demanda y necesidad de información solar se ha incrementado, si bien se ha hecho el esfuerzo por cubrir este tipo de datos a nivel nacional, aún falta por concretarlo. Debido a la falta de instrumentos y recursos económicos para la obtención de datos que abarquen regiones considerables, se han implementado diversos métodos para su obtención como la estimación por medio de modelos satelitales, lo cual crea incertidumbre en los resultados.

1.2 Instrumentos de radiación solar

La medición de radiación solar sufre diversos tratamientos, además de emplear distintos instrumentos para su cotejo, por lo cual sólo se consideró la clasificación aceptada internacionalmente de estos instrumentos, según propone la Comisión Nacional del Agua (2010) los instrumentos son los siguientes:

- *Pirheliómetro*: es un instrumento para medición de la radiación solar directa a incidencia normal. Estos son, pirheliómetros primarios (patrón) y pirheliómetros secundarios, calibrados por referencia a uno primario.
- *Piranómetro*: es un instrumento para medición de la radiación solar que emana de todo un hemisferio. Se utiliza para mediciones de radiación global y, junto con una pantalla circular, para mediciones de radiación celeste.
- *Pirgeómetro*: es un instrumento para medición de la radiación atmosférica neta sobre una superficie negra horizontal orientada hacia arriba, a la temperatura del aire ambiente.
- *Pirradiómetro*: es un instrumento para medir la radiación solar y terrestre. Un pirradiómetro neto es un instrumento para medir el flujo neto de radiación total hacia abajo y hacia arriba, a través de una superficie horizontal.

La Comisión Nacional del Agua (2010) y Tejeda (2015) mencionan que los instrumentos de radiación son clasificados en distintas clases, según sus características de medición, todas estas mediciones están referidas a la Hora Local Aparente (HLA) o bien la Hora Local Solar, es decir, la posición del sol en la esfera celeste en un lugar determinado. Los instrumentos de medición que se utilizan dependen de la gama esperada de señales, de los requisitos relativos a exactitud y sensibilidad, y de la resistencia de entrada del instrumento de medición. Para mediciones instantáneas, a menudo son preferidos los potenciómetros portátiles, y para trabajos menos precisos, el sensor del instrumento se puede conectar a un milivoltímetro (microamperímetro) del tipo de aguja indicadora. Para registros continuos se utilizan, ya sea milivoltímetros registradores, o potenciómetros electrónicos auto balanceados.

1.3 Factores que influyen en la radiación solar

La radiación solar se ve alterada al penetrar la atmósfera, y suele dividirse en directa y difusa, es decir, la radiación que se recibe del sol sin sufrir ninguna dispersión atmosférica y radiación solar recibida después de ser desviada atmosféricamente.

La proporción de cada una de éstas en la radiación global (suma de radiación directa y difusa) depende de las condiciones meteorológicas como nubosidad, humedad, partículas suspendidas y otras condiciones ambientales. De igual manera, dependerán de otros parámetros como la altitud y longitud. Barry y Chorley (1999) además de Méndez-Pérez y Gómez-Azpeitia (2015) mencionan que la cantidad de energía recibida por la Tierra se ve afectada por la geometría solar, principalmente por cuatro factores: la emisión solar, la distancia del sol a la Tierra, la altura del sol o elevación solar y la duración del día.

-Emisión solar

La energía solar tiene su origen en reacciones al interior del núcleo del sol, esta energía se transmite a la superficie por medio de radiación (ondas electromagnéticas).

-Distancia del sol

La distancia de la Tierra al sol, que cambia durante el año, produce variaciones estacionales de la energía solar que recibimos. Debido a la excentricidad de la órbita de la Tierra alrededor del sol, la cantidad de energía solar recibida sobre una superficie perpendicular al rayo es de 7 por ciento mayor en el perihelio que en el afelio.

-Altura del sol

La altura del sol (es decir, el ángulo entre sus rayos y una tangente a la superficie terrestre en el punto donde se efectúa la observación) también afecta a la cantidad de radiación solar recibida en la superficie terrestre. Cuanto mayor es la altura del sol, más concentrada es la intensidad de radiación por unidad de superficie terrestre y más largo es el camino del rayo solar a través de la atmósfera, lo que aumenta la absorción atmosférica. Además, con la altura del sol existen importantes variaciones de la proporción de la radiación reflejada por la superficie. Los principales factores que determinan la altura del sol son: la latitud, el momento del día y la estación.

-Duración del día

La duración de la luz diurna también afecta a la cantidad de radiación recibida. Cuanto más tiempo brille el sol, mayor será la cantidad de radiación que recibirá una porción dada de la Tierra. En el Ecuador, por ejemplo, la longitud del día es de casi 12 horas todos los meses, mientras que en los polos varía entre 0 y 24 horas del invierno (noche polar) al verano.

Barry y Chorley (1999) refieren que las regiones polares reciben cantidades máximas de radiación solar durante sus solsticios de verano, que son períodos de día continuo. Teóricamente, la cantidad recibida durante el solsticio de diciembre en el hemisferio austral es mayor que la recibida por el hemisferio septentrional durante el solsticio de junio, debido al recorrido elíptico de la Tierra alrededor del sol.

El Ecuador tiene dos máximos de radiación en los equinoccios y dos mínimos en los solsticios, debido al aparente recorrido del sol durante su doble movimiento anual entre los hemisferios norte y sur.

Para nuestro país estos factores son de suma importancia ya que, dada su posición geográfica, según Estrada-Cajigal (1992) México es uno de los países que más energía solar recibe al año por encontrarse en la región entre los 15° y 35° de latitud Norte. No obstante, también hay que tomar en cuenta que existen cambios en la cantidad de energía recibida por la dinámica propia de un lugar, es decir, se deben considerar los efectos que esta energía tiene con el sistema Tierra.

1.4 Efectos en el sistema Tierra

Toda la energía que emite el sol debe tener un medio de propagación; Kreith *et al.*, (2012) precisan que la energía calorífica puede transferirse por tres mecanismos esenciales:

- 1.- *Radiación*: Las ondas electromagnéticas transfieren energía (tanto calor como luz) entre dos cuerpos, sin necesidad de un material intermedio, a la velocidad de la luz. Eso es lo que pasa con la energía solar que atraviesa el espacio, mientras que la atmósfera terrestre sólo permite el paso de la radiación de ciertas longitudes de onda y restringe el de otras.
- 2.- *Conducción*: Mediante este mecanismo el calor pasa a través de una sustancia, de un punto a otro, por medio de la transmisión de los movimientos de las moléculas adyacentes.

Dado que el aire no es un buen conductor, en la atmósfera este tipo de transferencia de calor prácticamente puede despreciarse, pero sí es muy importante en el suelo.

3.- *Convección*: Tiene lugar en los fluidos (incluidos los gases) que son capaces de desarrollar circulación y distribuir partes calentadas de su masa, entonces así se crean corrientes llamadas de convección. La baja viscosidad del aire y consecuentemente su facilidad de desplazamiento convierten a este método de transferencia de calor en el principal de la atmósfera.

Como resultado de la interacción e intercambio de energía de la radiación solar en el sistema atmósfera-superficie, es necesario explicar los efectos que tienen las condiciones meteorológicas en este proceso, Barry y Chorley (1999), y Mediavilla (2004) expresan los 5 principales efectos en este sistema:

1.- Efecto en la atmósfera

Aproximadamente el 30 por ciento de la energía que llega vuelve a reflejarse inmediatamente hacia el espacio desde la atmósfera, las nubes y la superficie terrestre, con aproximadamente un 70 por ciento para calentar la Tierra y su atmósfera. De este porcentaje, prácticamente la mayor parte calienta la atmósfera, pero la mayoría de este calor lo hace indirectamente, desde la superficie terrestre. La retención final de esta energía por parte de la atmósfera es de vital importancia, ya que, si no tuviese lugar, la temperatura media de la superficie bajaría unos 40° C, lo que haría imposible la existencia de casi todos los seres vivos.

2.- Efecto de la nubosidad

La capa de nubes, si es bastante gruesa y completa, constituye una barrera significativa para la penetración de la radiación. La cantidad de radiación que en realidad se refleja depende de la cantidad de nubes y de su densidad. La proporción de la radiación incidente que es reflejada se denomina albedo o coeficiente de reflexión (y se expresa como una fracción o porcentaje). El tipo de nube afecta el albedo o reflexión. Mediciones efectuadas a nivel mundial, demuestran que el albedo de un cielo totalmente cubierto va del 44 al 50 por ciento para los *cirrostratos* y es del 90 por ciento si se trata de *cumulonimbus*. La capa de nubes también tiene la

acción contraria, dado que sirve para retener gran parte del calor que de otro modo se perdería para la Tierra de día y de noche en forma de radiación.

Por lo mencionado, el papel de las nubes significa que su presencia hace disminuir sensiblemente las temperaturas diarias, lo cual evita altas durante el día y mínimas bajas en la noche. Además de interferir en la transmisión de radiación solar, es decir, las nubes actúan como contenedores térmicos temporales, dado que absorben cierta proporción de la energía que interceptan.

3.- Efecto de la latitud

Las diferentes partes del mundo reciben cantidades distintas de radiación solar. La estación del año es un factor muy importante, ya que se recibe más radiación en verano que en invierno, debido a que la altura del sol es mayor y los días más largos. La latitud es un factor de control muy importante, dado que determina tanto la duración de la luz diurna como la distancia por la que viajan los rayos del sol a través de la atmósfera.

Una característica especial que mencionan los autores, es que la recepción de la radiación según la latitud consiste en las máximas temperaturas que se dan en la superficie terrestre no aparecen en el Ecuador, como se podría esperar, sino en los trópicos, por lo cual, es necesario tomar en cuenta el movimiento del sol en estas regiones del planeta.

Barry y Chorley (1999); Méndez-Pérez y Gómez-Azpeitia (2015) junto con Mediavilla (2004) expresan que la aparente migración vertical del sol es relativamente rápida durante su paso por encima del Ecuador, pero su tasa de velocidad disminuye al llegar a los trópicos. Entre 6° N y 6° S los rayos solares están casi en vertical sólo durante 30 días, en los equinoccios de primavera y otoño, lo cual significa poco tiempo para un gran calentamiento de la superficie y para unas temperaturas altas. Por otra parte, entre los 17.5° y 23.5° de latitud los rayos del sol caen casi en vertical durante 86 días consecutivos durante el período del solsticio. Este lapso más prolongado, combinado con el hecho de que los trópicos tienen más días largos que el Ecuador, hace que las zonas de máximo calentamiento se den cerca de los trópicos que del Ecuador.

En el hemisferio norte, este desplazamiento hacia el polo de la zona de máximo calentamiento viene enfatizada por el efecto de continentalidad, mientras que la baja

nubosidad asociada a los cinturones de altas presiones subtropicales constituye un factor adicional. Los cielos despejados son particularmente efectivos para permitir valores de mayor intensidad de recepción de radiación solar en esta zona.

4.- Efecto de la tierra y el mar

Otro importante control sobre el efecto de la radiación solar entrante proviene de las diferentes formas en que la tierra y el mar son capaces de aprovecharlas. Mientras que el agua tiende a almacenar el calor que recibe, la Tierra, por el contrario, lo devuelve rápidamente a la atmósfera.

Estas diferencias entre la tierra y el mar ayudan a producir la denominada continentalidad, la cual tiene diversas implicaciones:

En primer lugar, una superficie de tierra se calienta y se enfría mucho más deprisa que la del mar. En la tierra, este desfase entre los períodos de radiación máxima y mínima y las temperaturas superficiales máximas y mínimas es de sólo un mes, sin embargo, sobre el océano y las estaciones costeras el retraso es de dos meses.

En segundo lugar, las oscilaciones anuales y diurnas de temperaturas son mayores en las localidades continentales que en las costas.

El tercer efecto de la continentalidad es el resultado de la distribución mundial de las masas de tierra.

5.- Efecto de la topografía y la orientación

Algunas laderas están más expuestas al sol que otras. Estas reciben mucha más radiación solar directa con el cielo despejado que los lugares cercanos al nivel del mar, particularmente por debajo de los 2,000-3,000 metros. Ello se debe a la concentración de vapor de agua en la troposfera inferior. Como promedio, en las latitudes medias la intensidad de la radiación solar incidente aumenta en un 5-15 por ciento cada 1,000 m que aumenta la altura en la troposfera inferior.

Por ello, las diferencias de la elevación del suelo y de su orientación (es decir, la dirección de superficie) controlan en gran medida la cantidad de radiación solar recibida, incluso sin importar la escala.

Las particularidades de la radiación solar suelen ser estudiadas a partir del espectro electromagnético, ya que este divide sus características respecto a su longitud de onda.

1.5 Espectro electromagnético

La radiación solar se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas, esta radiación es emitida sobre un espectro de longitud de ondas, con una cantidad específica de energía para cada longitud de onda.

La característica principal de la radiación es la longitud de propagación, pero no toda la radiación tiene la misma longitud. Peixoto y Oort (1992) señalan que todos los cuerpos irradian en un gran número de longitudes de onda y toda la serie completa de posibles longitudes de onda es llamada espectro electromagnético. La longitud y frecuencia de ondas electromagnéticas son importantes para determinar su energía, visibilidad y su poder de penetración. La radiación electromagnética se puede ordenar en un espectro en diferentes longitudes de onda, que se extienden desde longitudes de onda corta (frecuencias muy altas) como los rayos gama, hasta longitudes de onda larga (frecuencias muy bajas) como las ondas de radio. Entonces a menor longitud de onda mayor contenido energético (Benavides, 2010). La distribución espectral de la intensidad de radiación solar cubre una banda de frecuencias que va desde el ultravioleta, la luz visible hasta el infrarrojo (Figura 1.1).

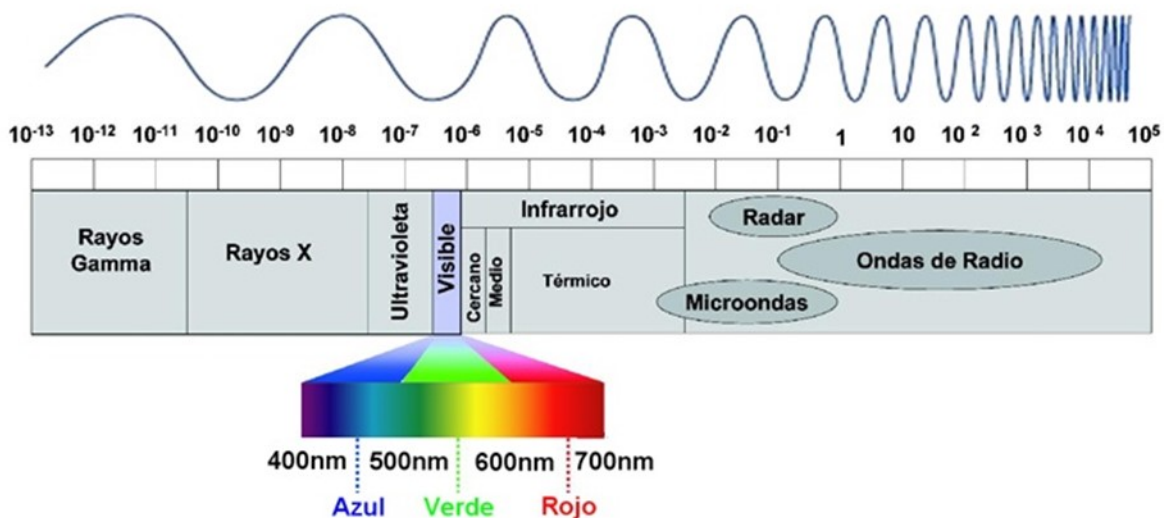


Figura 1.1: Esquema general del espectro electromagnético.

Fuente: Rodríguez y Rovira (1998).

La luz ultravioleta es una parte de la energía radiante que proviene del sol y constituye la porción más energética del espectro electromagnético que incide en la superficie de la

Tierra, por ello conocer sus características resultan importantes por las consecuencias que esta tiene en la salud de los seres humanos.

La radiación ultravioleta está dentro del rango de longitud que va de los 100 a 400 nm (Henderson-Sellers y Robinson, 1999). Dentro de esta región, el ojo humano responde a una pequeña porción, la cual se conoce como luz visible.

La radiación solar viaja a través de la atmósfera terrestre antes de llegar a la superficie y la luz solar natural que percibimos en la Tierra está compuesta por UV-A (5.1 por ciento), UV-B (0.3 por ciento), luz visible (62.7 por ciento) y luz infrarroja (31.9 por ciento). (Perdiz *et al.* 2000; Howe *et al.*, 2001; Svobodová *et al.*, 2003 citado por Gozález-Pumariega *et al.*, 2009).

En este recorrido toda la radiación UV-C y el 90 por ciento de la UV-B es absorbida por gases como el vapor de agua, oxígeno y dióxido de carbono, mientras que la radiación UV-A es débilmente absorbida, pero la radiación ultravioleta que penetra la atmósfera depende, en su mayor parte, de la concentración del ozono en la atmósfera (Figura 1.2).

Debido a lo anterior, la radiación UV que alcanza la superficie de la Tierra está compuesta en gran parte por la radiación UV-A (95 por ciento) y en menor grado por la UV-B (5 por ciento). La radiación UV que alcanza la tropósfera es el motor de todos los procesos fotoquímicos en las capas bajas de la atmósfera de la Tierra, sin embargo, la luz UV-B es la responsable de la mayor parte de los daños biológicos ocasionados por la luz solar.

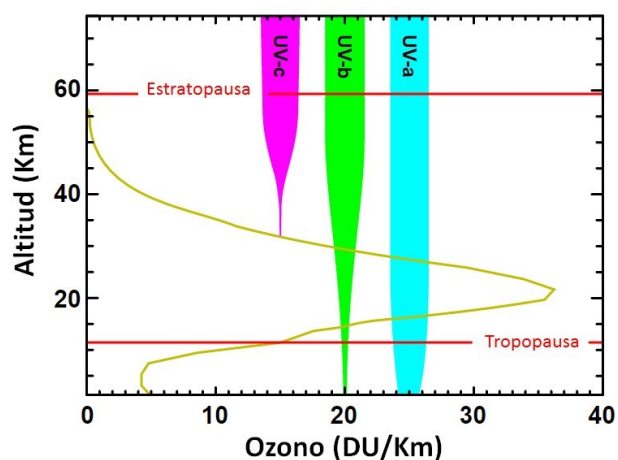


Figura 1.2: Absorción UV en la atmósfera.

Fuente: Florencia (2018).

Las radiaciones UV-A y UV-B se manifiestan en múltiples implicaciones sobre los procesos biológicos del planeta. En dosis apropiadas estas longitudes de onda benefician ciertas funciones de los organismos vivos, pero en exposiciones excesivas y acumulativas sus consecuencias pueden ser muy perjudiciales (Tevini, 1993; Jagger, 1985 citado por Benavides, 2010).

1.6 Radiación ultravioleta y atmósfera

Como ya se mencionó, la radiación ultravioleta forma parte del espectro electromagnético, aunque también existe de manera artificial por medio de cámaras solares. Su longitud de onda está comprendida de los 100 nm a los 400 nm, es decir, menor a la luz visible y mayor a los rayos-X. Los rayos ultravioletas son invisibles al ojo humano y es importante resaltar que entre más corta sea la onda, más intensa es la energía de los rayos solares.

Para facilitar su estudio, la Organización Mundial de la Salud (2013), subdivide en tres bandas la radiación UV:

° *UV-A*: Su longitud de onda fluctúa entre 315 y 400 nm, que representa el mayor tipo de radiación UV recibida por la superficie de la Tierra y no es retenida por la atmósfera. Causan que las células de la piel envejecan y pueden ocasionar cierto daño a las células del ADN. Están principalmente asociados con daño a la piel a largo plazo, tal como arrugas, aunque también desempeñan un papel en el desarrollo del cáncer de piel.

° *UV-B*: Su longitud de onda oscila entre 280 a 315 nm, que se absorbe parcialmente y se dispersa en la atmósfera. Aproximadamente el 90 por ciento se bloquea por el ozono y el oxígeno de la atmósfera. Es más energética y dañina para la biósfera que la radiación UV-A. Pueden causar daño directo al ADN, y son los rayos que causan principalmente las quemaduras de sol. Asimismo, causan la mayoría de los cánceres de piel.

° *UV-C*: Su longitud de onda fluctúa entre 100 y 280 nm constituye la fracción más energética, que es completamente absorbida por la capa de ozono. Este tipo de radiación y otras partículas energéticas (rayos-X, rayos gamma y rayos cósmicos) son retenidas totalmente en las regiones externas de la atmósfera y no alcanzan la superficie terrestre. No

penetran nuestra atmósfera y por lo tanto no están presentes en la luz solar. No son normalmente una causa de cáncer de piel (American Cancer Society, 2011).

La Organización Mundial de la Salud (2013) expresa que la irradiancia solar espectral (potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética) en las bandas UV-A y UV-B representan sólo el 7.45 por ciento de la radiación total emitida por el sol que influye en la Tierra antes de pasar a través de la atmósfera. Después de pasar a través de la atmósfera, la radiación UV tipo A y B representa el 5.9 por ciento y 1.3 por ciento respectivamente.

Aunque los rayos UV-A y UV-B representan sólo una pequeña porción de las longitudes de onda del sol, son los principales causantes de daño solar en la piel. La radiación UV daña el ADN de las células de la piel. Los cánceres de piel comienzan cuando este daño afecta el ADN de los genes que controlan el crecimiento de las células de la piel. Tanto los rayos UV-A como los UV-B dañan la piel y causan cáncer de piel (American Cancer Society, 2011).

La intensidad de los diferentes tipos de rayos ultravioleta A, B, y C según la Organización Mundial de la Salud (2013) depende de:

- *Altura del sol:* Cuanto más alto este el sol en el cielo, más intensa es la radiación UV. Así, la intensidad de la radiación UV varía según la hora del día y la época del año. Fuera de las zonas tropicales, las mayores intensidades de la radiación UV se produce cuando el sol alcanza su máxima altura, es decir, durante el mediodía solar durante los meses de verano.
- *Latitud:* Cuanto más cerca del Ecuador y a los trópicos más intensa es la radiación. La cantidad de radiación solar que llega a la superficie es muy dependiente de la elevación del sol. En regiones tropicales en que el sol se encuentra cerca de la vertical en los meses de verano los niveles de radiación UV son muy altos. Por el contrario, en las regiones polares la elevación del sol incluso en verano es poca y los niveles de radiación debidos a este efecto son bajos o moderados.
- *Nubosidad:* La intensidad de la radiación UV es máxima cuando no hay nubes, pero puede ser alta incluso con ellas. La dispersión puede producir el mismo efecto que la

reflexión por diferentes superficies, lo cual aumenta la intensidad total de la radiación UV.

- *Altitud:* Los niveles de radiación UV están muy influenciados por la altura sobre el nivel del mar debido a la disminución de la capa de aire que queda por encima; a mayor altitud la atmósfera es más delgada y absorbe una menor proporción de radiación UV. Con cada 1,000 metros de incremento de la altitud, la intensidad de la radiación UV aumenta en un 10 a 12 por ciento. Mientras mayor sea la altitud de un lugar, menor es la atenuación de los rayos del sol por la atmósfera, por lo que la radiación UV será mayor que a nivel del mar.
- *Ozono:* El ozono absorbe parte de la radiación UV que podría alcanzar la superficie terrestre. La concentración de ozono varía a lo largo del año, incluso del día.
- *Aerosoles:* El aerosol atmosférico está constituido por el conjunto de partículas en suspensión en la atmósfera, el aerosol troposférico reduce los niveles de UV significativamente en regiones contaminadas. El aerosol estratosférico también influye en los niveles de radiación UV que alcanza la superficie indirectamente, a través de su efecto en la química del ozono estratosférico.
- *Contaminación:* En áreas urbanas se producen concentraciones importantes de gases contaminantes a nivel de la atmósfera baja, entre ellos: ozono troposférico, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno, que absorben radiación ultravioleta. El aumento de concentración de estos gases lleva a una disminución de la intensidad de radiación ultravioleta en las áreas urbanas, a pesar del debilitamiento de la capa de ozono estratosférico.
- *Albedo (o reflectividad del suelo):* Albedo del suelo afecta a la radiación UV tanto en la radiación difusa como en la directamente reflejada por la superficie. Diferentes tipos de superficies reflejan o dispersan la radiación UV en diversas medidas, por ejemplo, la nieve reciente puede reflejar hasta un 80 por ciento de la radiación UV, la arena seca de la playa, alrededor de un 15 por ciento y la espuma del agua aproximadamente un 25 por ciento. La alta reflectividad puede ser de gran importancia en la distribución geográfica y estacional de la radiación UV, específicamente en climas fríos.

- *Oblicuidad o masa de aire atmosférica:* Se denomina ángulo cenital al ángulo que forma la dirección aparente del sol con la vertical local. Este ángulo depende a su vez de la hora del día, estación y la latitud del sitio. La influencia de este factor tiene dos aspectos; uno de ellos geométrico, ya que el flujo de radiación que atraviesa una superficie cualquiera varía con la orientación de la superficie. Si esta es paralela a la dirección de incidencia, el flujo de radiación es cero, mientras que, si es perpendicular, resulta máximo. Además de este efecto, el aumento del ángulo cenital implica que la radiación tiene que atravesar una capa atmosférica más gruesa y por consiguiente su atenuación será mayor. La oblicuidad de los rayos del sol y el horizonte depende de la latitud, y el día del año. La cantidad de radiación UV de todos los tipos, que nos llega a la superficie de la Tierra depende de la hora y el ángulo que los rayos del sol forman con la superficie receptora. Cuando el sol está cerca del horizonte, su radiación viaja una larga distancia a través de la atmósfera, por lo que menos rayos UV llegan a la superficie de la Tierra y cuando el sol está en la parte más alta, sus rayos tienen menos distancia que atravesar y caen con mayor intensidad en la superficie de la Tierra. En latitudes medias es de mayor consideración este efecto.
- *Otros factores:* La intensidad de radiación ultravioleta producida por el sol tiene leves variaciones, asociadas a su período de rotación aparente (27 días), al ciclo de manchas solares (11 años) y a la aparición de protuberancias y explosiones en la fotosfera. Estas fluctuaciones afectan sobre todo las componentes más energéticas del espectro, que no llegan a la superficie terrestre. Sin embargo, pueden afectar al ciclo de producción y destrucción de ozono en la alta atmósfera y, en consecuencia, la transmisión atmosférica de otras porciones del espectro ultravioleta.

Estos factores toman importancia, porque al conjuntarlos crea un riesgo ante la exposición, además, la energía radiante tiene una estrecha relación con la atmósfera y la cobertura nubosa, principales variables en la dinámica de intensidad y profundidad de los rayos ultravioleta.

Quiñones y Almanza (2014) señalan que la atmósfera terrestre se compone de alrededor de 99 por ciento de nitrógeno molecular (N₂) y oxígeno molecular (O₂) también

contiene vapor de agua y aerosoles. El contenido de vapor de agua y aerosoles en la atmósfera es muy variable, sin embargo, son de gran importancia en la dinámica de la radiación ultravioleta. El ozono estratosférico que contiene una capa alrededor de la Tierra protege de la radiación UV procedente del sol, pero la disminución de la capa de ozono en la estratósfera ha aumentado la radiación UV que llega a la superficie terrestre según estos autores. Debido a esto, es importante cuantificar la radiación UV recibida, ya que es capaz de romper algunos tipos de moléculas biológicas como el ADN.

Asimismo, estos autores refieren que la variación espacial y temporal de la irradiancia de la radiación UV en la superficie de la Tierra, depende de factores como la latitud, la altitud y las condiciones climáticas locales. Los efectos resultantes de las condiciones del cielo, tales como vapor de agua, aerosoles y la cantidad de ozono también afectan la transmisión de la radiación ultravioleta en la superficie de la Tierra. Los rayos ultravioletas más energéticos son los A y B, sin embargo, la radiación ultravioleta B es el principal agente dañino en los efectos negativos en el ser humano.

1.7 Radiación ultravioleta B

La radiación ultravioleta de tipo B es una pequeña ventana del espectro electromagnético cuyos fotones llevan suficiente energía para romper las moléculas de componentes importantes de la atmósfera (ozono, dióxido de carbono, etc.). De esta manera, este tipo de UV se vincula con la mayoría de los procesos que ocurren en la atmósfera terrestre (Velázquez, 2007).

La medición de la radiación solar ultravioleta B (UV-B) debe considerarse como una prioridad en todo el país debido a las implicaciones de este tipo de radiación en la salud, pero esto no se lleva a cabo en la actualidad en México. Los sensores instalados, que realizan esta tarea, cubren solamente el 0.12 por ciento del país de acuerdo con Valdés-Barrón *et al.*, (2014). Sin embargo, se ha migrado a la búsqueda de métodos alternativos para estimar la radiación UV-B para superar la falta de datos en superficie. La opción más utilizada se basa en satélites de monitoreo ambiental.

La Organización Meteorológica Mundial (1994) expresa que la disminución del ozono (O₃) en la estratosfera en latitudes medias y altas ha sido uno de los problemas más

graves en los últimos años y está estrechamente relacionada con un aumento severo de radiación solar ultravioleta en todas las bandas espectrales (A, B y C) debido a la gran magnitud del daño a la capa de ozono, este fenómeno se manifiesta en la superficie de la Tierra.

La reducción de O₃ en general tiene efectos relevantes en la salud de los seres vivos y también afecta a la composición atmosférica en términos de concentración o la ausencia de determinados compuestos o gases. En distintas ciudades del mundo como en Estados Unidos, Chile, Países Bajos y Nueva Zelanda, sólo por mencionar algunos, la estimación y medición de UV-B se lleva a cabo de forma rutinaria y se informan en lapsos de 10, 30 y 60 minutos, para visualizar las variaciones e informar al público en general. En México no existe la correcta divulgación ni la debida importancia a este parámetro meteorológico.

Valdés-Barrón *et al.*, (2014) refieren que hay algunos casos aislados de mediciones puntuales en los que se supervisa la UV-B con fines de investigación, por ejemplo, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y la Universidad de Colima (UC). Sólo en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) tiene una red de sensores UV-B, que produce mediciones de forma continua y cuyos resultados están disponibles para el público en general. Sin embargo, esta red tiene una cobertura espacial de sólo 2,500 km², que es aproximadamente el 0.12 por ciento del país; de esta forma los beneficiarios potenciales de estas mediciones son el 15.5 por ciento de la población total, que incluye la población de la ZMCM y la población total para 2015.

De la misma manera Mendoza (2015) expresa que, en México por su relieve, una estación meteorológica no puede ser considerada representativa del área mínima recomendada por la Organización Meteorológica Mundial, ya que existen variaciones considerables en la elevación y estas ocurren en distancias muy cortas, lo cual causa una rápida variación espacial de los parámetros climáticos. Por lo tanto, Mendoza (2015) expresa que, para garantizar una monitorización continua y eficaz, se requiere una red mayor a mil estaciones. Además, plantean que el costo de los sensores de radiación UV-B no permite la posibilidad de instalar una red tan grande, y también es necesario tener en cuenta los costos adicionales, como el mantenimiento preventivo y correctivo, así como la calibración de los sensores. De esta manera, se han empleado técnicas que ayudan a estimar este tipo de datos, las cuales van desde modelos teóricos hasta la utilización de sensores satelitales.

Quiñones y Almanza, (2014) expresan que esta última técnica resulta una alternativa viable, porque en la mayoría de los casos permite la evaluación de diferentes parámetros meteorológicos con un sólo satélite, y así se reduce en gran medida los costos antes mencionados. Además, esta información satelital está disponible en internet.

En la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, según Mendoza (2015) existe desde el año 2000, una sola red de sensores de radiación solar Ultravioleta Banda “A” (UV-A) y Banda “B” (UV-B) la cual forma parte de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA). Esta red cumple con los requerimientos de la Organización Meteorológica Mundial, sus sensores son calibrados periódicamente por el Centro para la Medición de la Radiación Solar, el cual pertenece a la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México.

El departamento de Radiación Solar del Instituto de Geofísica de la UNAM cuenta con una estación que mide estos dos parámetros y sus instalaciones también cumplen con los requerimientos de la OMM, entre ellos, la calibración periódica e instrumentación dentro de la estación. Mendoza (2015), comenta que se encuentra en proceso la instalación de sensores ultravioleta en las estaciones de la Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos (RUOA), en diferentes puntos del país. Dicha red está bajo el resguardo del departamento de Radiación Solar del Instituto de Geofísica.

Un problema fundamental en la evaluación de radiación solar y radiación ultravioleta en superficie es la obtención de datos confiables que alimenten a los modelos basados en imágenes de satélite. Diversos grupos de investigación y de gobierno se enfrentan con dificultades para el mantenimiento de las redes de estaciones. Por ello Valdés-Barrón *et al.*, (2014) y Mendoza (2015) comentan, que es recomendable la creación del Servicio Radiométrico Mexicano, el cual tendría a su cargo la instalación, mantenimiento y procesamiento de datos, así como el monitoreo de la radiación solar del territorio nacional, además de la publicación de los datos y los sistemas relacionados con la exposición a la radiación solar y ultravioleta en todo el país.

Los esfuerzos por obtener datos y divulgar la información se han mantenido, instituciones como del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) en su Atlas de Digital de Riesgo ha publicado información de la distribución de radiación solar, de igual manera la Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México

(SEDEMA) en su portal web de Calidad de Aire presenta los datos del Índice UV y los valores diarios para la ZMCM, grupos de investigación como los de Valdés-Barrón y Estrada-Cajigal han mantenido una línea de investigación del recurso solar a nivel país con el aporte de investigaciones y estudios, además de datos; pero aún es necesario impulsar este tipo de acciones dada la importancia de esta energía en el sistema ambiental y social.

1.8 Índice Ultravioleta (IUV)

Para informar y divulgar a la población de los valores de radiación ultravioleta, la Organización Mundial de la Salud (OMS) en colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la Comisión Internacional sobre Protección contra la Radiación no Ionizante (ICNIRP) y la Oficina Federal Alemana para la Protección contra la Radiación (BFS) crearon el índice UV solar mundial el cual sirve como un instrumento para fomentar la protección solar (OMS, 2013).

Desde su primera publicación en 1995, se han realizado varias reuniones internacionales (Les Diablerets en 1994; Baltimore en 1996; Les Diablerets en 1997; Munich en 2004) con el fin de homogenizar la forma de comunicar el índice UV y mejorar su uso como instrumento educativo para fomentar la protección solar.

Este índice, es un indicador de lesiones cutáneas, que sirve como instrumento importante para hacer conciencia en la población y advertir a las personas de la necesidad de adoptar medidas de protección cuando se exponen a la radiación UV.

El índice ultravioleta de acuerdo con la definición de la Organización Mundial de la Salud (2013) es una medida de la intensidad de la radiación UV sobre la superficie terrestre que tiene relación con los efectos sobre la piel humana. Este índice tiene dos características primordiales:

- Proporcionar al menos el valor máximo diario. En el pronóstico la comunicación de un máximo diario debe utilizarse el valor medio de 30 minutos. Si se dispone de observaciones continuas, es útil manejar valores medios de períodos de 5 a 10 minutos para mostrar los cambios a corto plazo.

- El IUV debe presentarse como un valor único redondeado al número entero más próximo. Sin embargo, cuando la nubosidad es variable el IUV debe notificarse mediante un intervalo de valores.

Es importante recalcar que las mediciones del IUV deben tener en cuenta los efectos de las nubes sobre la transmisión de la radiación UV a través de la atmósfera. De no ser así las instituciones encargadas de la difusión de los valores deberán especificar que se trata de un índice “con cielo despejado” o “sin nubes” según lo mencionado en el IUV.

Los valores del IUV se dividen en categorías de exposición (Tabla 1.1). Las instituciones encargadas de difundir el IUV deben hacerlo sobre la categoría de exposición, el valor o intervalo de valores del IUV, o ambos. Con el fin de crear hábitos de protección y salud solar, pero, sobre todo, de informar la intensidad de la radiación UV.

Tabla 1.1: Categorías de exposición e intervalo de valores ultravioleta.

CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN	INTERVALO DE VALORES UV
BAJA	> 2
MODERADA	3 a 5
ALTA	6 a 7
MUY ALTA	8 a 10
EXTREMADAMENTE ALTA	11+

Fuente: Organización Mundial de la Salud (2013).

La categoría de exposición del IUV orienta sobre las precauciones que deberíamos tomar para evitar una sobreexposición, cuanto más alto es este valor, mayor es la probabilidad de sufrir lesiones cutáneas u oculares.

La Dirección de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de México (2018) utiliza estos indicadores para informar a la población sobre los niveles de radiación solar UV, así como concientizarla sobre los riesgos y cuidados que se deben de tener en cuenta de acuerdo con el fototipo de piel. La divulgación de información está dirigida a toda la población, pero especialmente a la población vulnerable y con exposición alta, de

esta manera, cumple con el propósito de comunicar los diversos efectos de una exposición sin protección a la radiación UV como pueden ser quemaduras, envejecimiento prematuro y cáncer en la piel, así como alteraciones oculares y del sistema inmunitario.

La Dirección de Monitoreo Atmosférico (2018), define una escala para el Índice UV que va de 1 a 11+ (Figura 1.3), sin embargo, expresa que, en algunas ciudades, incluyendo la Ciudad de México, se utiliza el valor de 0 para referirse a la ausencia de radiación y el valor de 11+ para expresar un índice de 11 o superior. Cuando el Índice UV alcanza o supera el valor de 11 existe un riesgo importante de sufrir daños en la piel sin protección en un período de tiempo breve. En la Ciudad de México el índice puede alcanzar un valor máximo equivalente a 15, sin embargo, se reporta como 11+ en apego a las recomendaciones de la OMS.



Figura 1.3: Sistema de protección solar.

Fuente: Organización Mundial de la Salud (2013).

Se ha determinado que la principal causa del aumento de las tasas de cáncer de piel desde comienzos de los años setenta es la mayor exposición al sol, y esta tendencia actual sólo puede frenarse mediante cambios del estilo de vida y concientización. Las campañas de divulgación pretenden mejorar los conocimientos de la población sobre los riesgos a la salud de la exposición excesiva al sol y lograr cambios en actitudes y comportamientos. Mediante la disminución de las quemaduras solares y de la exposición acumulada a la radiación UV a lo largo de la vida, se podrán reducir con el tiempo, las tasas de cáncer de piel (Dirección de Monitoreo Atmosférico, 2018).

La OMS (2013) recalca que más del 90 por ciento de los cánceres de piel se producen en los fototipos I y II. La piel del ser humano se divide en seis tipos según la intensidad de su pigmentación; de esta manera la luz solar causará daños de acuerdo con el valor del índice UV y del tipo de piel (Tabla 1.2). De tal manera es necesario crear y difundir programas de información a distintas escalas para reducir los efectos nocivos de la radiación UV.

Tabla 1.2: Clasificación de tipos de piel (adaptado de Fitzpatrick y Bologna, 1995).

FOTOTIPO CUTÁNEO	TIPO DE PIEL	SE QUEMA TRÁS LA EXPOSICIÓN AL SOL	SE BRONCEA TRÁS LA EXPOSICIÓN AL SOL
I. Deficiente en melanina	I. Piel blanca alabastro	I. Siempre	I. Raramente
II.	II. Piel blanca	II. Habitualmente	II. Algunas veces
III. Con melanina suficiente	III. Piel blanca con mínima tonalidad marrón	III. Algunas veces	III. Habitualmente
IV.	IV. Piel de tono marrón media intensidad	IV. Raramente	IV. Siempre
V. Con protección melánica	V. Piel de tono marrón intenso	V. Piel morena natural	
VI.	VI. Negros de tonalidad intensa	VI. Piel negra natural	

Fuente: Organización Mundial de la Salud (2013).

La diversidad de fototipos de pigmentación de un país se ha creado a través de hechos histórico-sociales (Everardo, 2016). La distribución de fototipos de piel en México (Figura 1.4) refleja una diferencia regional entre los individuos del noroeste con respecto a los de la región centro-sur, probablemente debido a las diferencias en los aportes ancestrales (Rubí-Castellanos *et al.*, 2009).

Rangel (2008) resalta que la población mestiza mexicana presenta mayor presencia ancestral europea (64 por ciento) seguida de la nativa americana (21 por ciento) y en menor medida la raza africana (15 por ciento).

Los individuos del norte y occidente de México tienen un arreglo de pigmentación claro, atribuible a una mayor presencia de población europea en esta zona, en comparación con la región centro-sur en la época colonial; lo que podría explicar la semejanza de la

incidencia de melanoma en nuestro país con respecto a la incidencia de España y Francia (Alfeirán *et al.*, 1998).

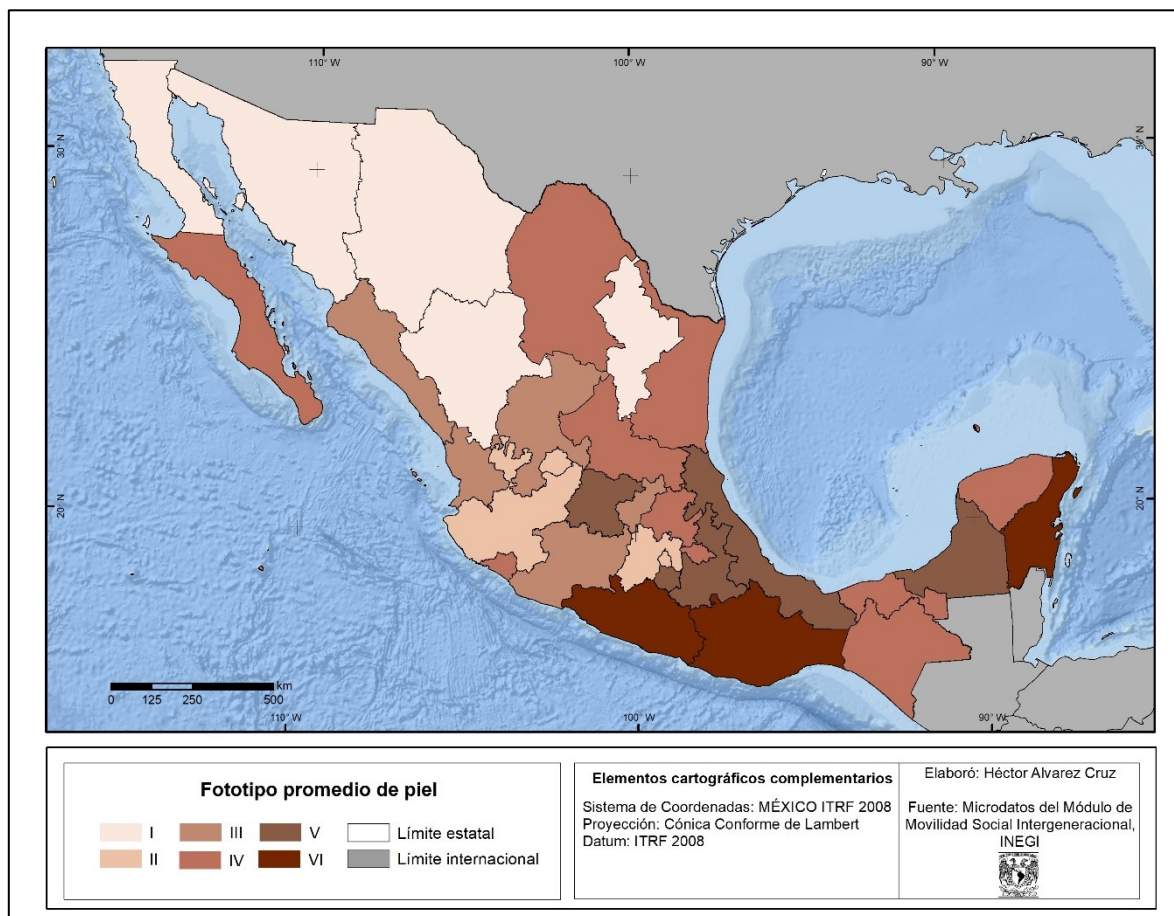


Figura 1.4.- Fototipo promedio de piel en México.

Fuente: INEGI (2016). Base de datos del Módulo de Movilidad Social Intergeneracional.

Los fototipos de piel más claros (I y II) se encuentran en los estados del norte principalmente en Baja California, Sonora, Chihuahua, Durango, Nuevo León, Aguascalientes, Guadalajara, Ciudad de México y Edo. de México; mientras que los fototipos de piel medios (III y IV) se concentran en las regiones de las Llanuras Costeras del Pacífico y Golfo de México, además de la Mesa Central y el Eje Neovolcánico en los estados de Sinaloa, Nayarit, Michoacán, Querétaro, Tlaxcala, San Luis Potosí, Coahuila y Tamaulipas. La presencia de fototipos de piel oscuros (V y VI) prevalecen en los estados del centro-sur en Guerrero, Oaxaca, Morelos, Puebla, Veracruz y la Península de Baja de Yucatán.

La importancia de conocer la distribución de fototipos de piel radica en que la pigmentación representa un mecanismo de protección natural que poseen las células ante factores externos, en especial de la radiación. Además, de acuerdo con Alfeirán *et al.*, (1998) el melanoma es mucho más frecuente en raza blanca teniendo una incidencia 10 veces mayor que en raza negra. Esto parece tener una relación entre el grado de pigmentación y la incidencia del melanoma.

1.9 Exposición a la radiación y cáncer de piel.

Desde la antigüedad se han descrito los efectos de la exposición al sol y el daño o beneficio al ser humano. Según Roelandts (2007) la radiación ultravioleta fue descubierta en la radiación solar en el año de 1801; y en el año de 1820, Everard Home mostró que las quemaduras solares eran un efecto térmico de la luz solar, al medir la temperatura de la piel cuando las manos estaban expuestas al sol y cuando estaban cubiertas por un paño. Este descubrió que sólo la mano descubierta desarrolló quemaduras solares a pesar de que la piel no era más cálida. El papel de los rayos UV en la piel quedó claro en el año de 1858, cuando Charcot vio reacciones de quemaduras solares en dos científicos que trabajaban con lámparas de arco eléctrico.

Ouhtit *et al.*, (1998) manifiestan que la exposición a la radiación UV del sol es el factor de riesgo medioambiental más importante para el desarrollo del melanoma. El riesgo de melanoma se correlaciona fuertemente con la exposición UV y las quemaduras solares; la cara y el cuello son sitios anatómicos comunes para el cáncer de piel; afirman que la exposición a la radiación UV en la piel da como resultado efectos mutagénicos.

Para Markovic *et al.*, (2007) las longitudes de onda que influyen en el riesgo de melanoma son más probables en la gama UV-B (280 - 315 nm); recalcan que las personas con tipos de piel tipo I y II son más sensibles a los efectos de la exposición en estas longitudes de onda y corren un mayor riesgo de desarrollo del cáncer de piel.

La cantidad de radiación UV promedio anual se relaciona con la incidencia de melanoma, cuanto más se acerque un individuo a la zona del Ecuador y los Trópicos, mayor será la intensidad de la exposición a los rayos UV que se produzcan.

Pequeñas dosis de radiación UV son beneficiosas para el ser humano y esenciales para la producción de vitamina D, pero una exposición prolongada a la radiación UV solar puede producir efectos agudos y crónicos en la salud de la piel, los ojos y el sistema inmunológico. González-Púmariega *et al.*, (2009) refieren que las reacciones oculares de tipo inflamatorio, quemaduras solares y el bronceado son los efectos más conocidos de la exposición excesiva a la radiación UV; a largo plazo, se produce un envejecimiento prematuro de la piel como consecuencia de la degeneración de las células, del tejido fibroso y de los vasos sanguíneos inducida por la radiación UV, sin embargo, pueden existir daños más profundos en las células al grado de desarrollar cáncer de piel.

El cáncer de piel se origina cuando las células en alguna parte del organismo comienzan a crecer de manera descontrolada. Existen muchos tipos de cáncer, pero todos comienzan debido al crecimiento sin control de células anormales. El crecimiento de las células cancerosas es diferente al crecimiento de las células normales.

Las células normales del cuerpo crecen, se dividen y mueren de manera ordenada. En lugar de morir, las células cancerosas continúan en crecimiento y forman nuevas células anormales. Además, las células cancerosas pueden invadir otros tejidos, algo que las células normales no pueden hacer. El crecimiento sin control y la invasión a otros tejidos es lo que hace que una célula sea cancerosa. Las células cancerosas a menudo se trasladan a otras partes del organismo donde comienzan a crecer y a formar nuevos tumores que reemplazan al tejido normal. A este proceso se le conoce como metástasis y este ocurre cuando las células cancerosas entran al torrente sanguíneo o a los vasos linfáticos de nuestro organismo (American Cancer Society, 2011).

González-Púmariega *et al.*, (2009) y la American Cancer Society (2011) mencionan que los diferentes tipos de cáncer se pueden comportar de manera muy distinta. Por ejemplo, el cáncer de pulmón y el cáncer de seno son dos enfermedades muy diferentes. Crecen a velocidades distintas y responden a distintos tratamientos; incluso, el mismo cáncer de piel se comporta de manera distinta en dos personas con características similares.

El tiempo de evolución no se conoce en concreto. En nuestro país, los autores que han investigado este problema son Martínez-Saíd *et al.*, (2004) los cuales refieren que el tiempo promedio, entre la primera manifestación y asistencia médica es de 13 meses, en un total de 1,241 pacientes con melanoma maligno; el estudio realizado por Alfeirán *et al.*, (1998)

expresan que el tiempo de evolución de la enfermedad, en promedio fue de 18 meses, en un análisis de 1,060 pacientes. Por otro lado, Lino-Silva *et al.*, (2016) en un análisis clinicopatológico demuestran que el tiempo promedio de evolución de la enfermedad, de todos los pacientes (1,200) fue de 35 meses.

De esta forma resulta complicado comparar el cáncer de piel. Por esta razón, las personas con melanoma necesitan un tratamiento que sea específico a sus características biológicas y genéticas.

Para poder entender el cáncer de piel, resulta útil conocer de manera general la estructura normal y el funcionamiento de la piel. La piel es el órgano más grande del cuerpo y tiene funciones diferentes, según la American Cancer Society (2011):

- Recubre los órganos internos y los protege de lesiones.
- Sirve de barrera a los gérmenes, como las bacterias.
- Evita la pérdida excesiva de agua y de otros líquidos.
- Ayuda a controlar la temperatura corporal.
- Protege el resto del cuerpo de los rayos ultravioleta (UV).
- Ayuda al cuerpo a producir vitamina D.

La piel tiene tres capas: la epidermis, la dermis y la hipodermis (Figura 1.5).

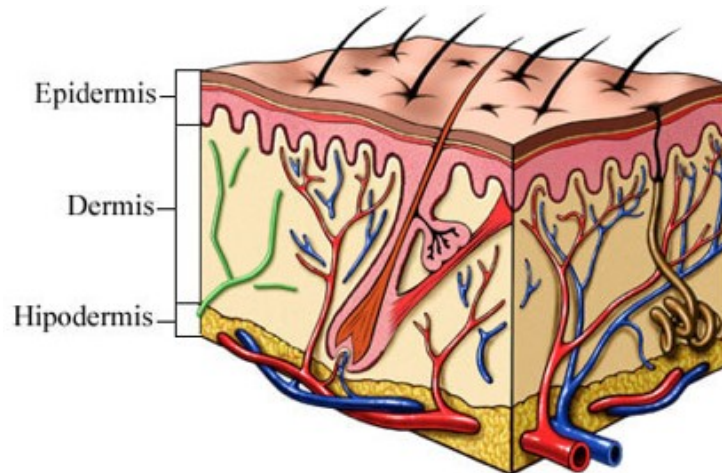


Figura 1.5: Estructura general de la piel.

Fuente: American Cancer Society (2011).

Epidermis

La capa superior de la piel es la epidermis. La epidermis es delgada, su espesor promedio es de 0.2 milímetros (alrededor de 1/100 de pulgada). Protege las capas más profundas de la piel y los órganos del cuerpo contra el medio ambiente.

En esta parte de la piel, se encuentran las células llamadas melanocitos; estas células de la piel producen el pigmento de color moreno llamado melanina. La melanina es lo que hace que la piel tenga un color moreno o bronceado, y para proteger las capas más profundas de la piel contra algunos efectos nocivos del sol. Cuando la piel se expone al sol, los melanocitos producen más pigmento, lo que provoca que la piel se torne bronceada o más oscura.

Dermis

La capa media de la piel se llama dermis, la cual es mucho más gruesa que la epidermis. Contiene folículos pilosos, glándulas sudoríparas, vasos sanguíneos y nervios que se mantienen en su sitio gracias a una proteína llamada colágeno. El colágeno producido por las células denominadas fibroblastos, le imparte resistencia y fuerza a la piel.

Hipodermis

La capa más profunda de la piel se llama hipodermis. La hipodermis y la parte inferior de la dermis forman una red de colágeno y células adiposas (grasas). La hipodermis ayuda al cuerpo a conservar el calor y posee un efecto de amortiguación de choque que ayuda a proteger a los órganos del cuerpo para que no se lesionen (American Cancer Society, 2011).

Los tipos de cáncer que se originan a partir de los melanocitos, las células de la piel que producen pigmentos, se llaman melanomas. Los melanocitos también pueden formar crecimientos benignos llamados lunares. Los cánceres que no son de tipo melanoma son agrupados como cánceres de piel de tipo no melanoma debido a que tienden a actuar de manera muy diferente a los melanomas (Markovic *et al.*, 2007).

Los factores de riesgo para padecer cáncer de piel melanoma y no melanoma según la American Cancer Society, 2011 son los siguientes:

- *Lugar de residencia:* Las personas que viven en áreas donde están expuestas todo el año a la luz solar intensa tienen mayor riesgo. Pasar mucho tiempo a la intemperie por motivos de trabajo o recreación sin protegerse con ropa o loción antisolar aumenta su riesgo.
- *Piel blanca:* El riesgo de padecer cáncer de piel es mucho mayor en las personas de raza blanca que en las personas de raza negra. Esto se debe al efecto protector de la melanina (el pigmento de la piel) en personas con piel más oscura. Las personas blancas (tez clara) que se queman o se llenan de pecas con facilidad tienen un riesgo especialmente alto. Esta es otra razón por la cual la tasa de cáncer de piel es alta en Australia y E.U.A, donde la mayoría de los pobladores descienden de inmigrantes de piel blanca.
- *Edad mayor:* El riesgo de cáncer de piel de células basales y escamosas incrementa a medida que las personas aumentan de edad. Probablemente esto se debe a la acumulación de la exposición solar con el transcurso del tiempo. En los últimos años se presentan también en personas jóvenes, probablemente porque estas pasan más tiempo expuestas al sol.
- *Sexo masculino:* En comparación con las mujeres, los hombres tienen alrededor del doble de probabilidades de padecer cáncer de células basales y alrededor del triple de probabilidades de padecer cáncer de piel de células escamosas. Se cree que esto se debe principalmente a mayores niveles de exposición por actividades laborales.
- *Exposición a ciertos químicos:* La exposición a grandes cantidades de arsénico aumenta el riesgo de cáncer de piel. El arsénico es un metal pesado que se encuentra naturalmente en el agua del pozo de algunas áreas. También se usa para producir algunos pesticidas. Los trabajadores expuestos a la brea industrial, la hulla, la parafina y ciertos tipos de aceites también pueden tener riesgo de padecer cáncer de piel.
- *Exposición a la radiación:* Las personas que se han sometido a la radioterapia tienen mayor riesgo de padecer cáncer de piel en el área en la que recibieron el tratamiento. Esta es una inquietud particularmente en los niños que han recibido radiación como tratamiento contra el cáncer.
- *Historial de cáncer de piel:* Cualquier persona que haya tenido cáncer de piel de los queratinocitos tiene una probabilidad más alta de padecer otro cáncer de piel.

- *Lesiones o inflamaciones graves o prolongadas de la piel:* las cicatrices de quemaduras graves, la piel que recubre el área donde se produjo una infección ósea grave y la piel dañada por ciertas enfermedades inflamatorias graves tienen más probabilidades de padecer cánceres de los queratinocitos, aunque, por lo general, este riesgo es menor.

El cáncer de piel representa el tipo más frecuente de deformaciones tumorales humanas. Prácticamente el 99 por ciento de ellos corresponden a tumores de piel no melanoma, carcinoma basocelular (CBC) y espinocelular (CEC); el melanoma maligno representa un porcentaje muy pequeño, sin embargo, dada su agresividad es el responsable de la mayoría de los fallecimientos ocasionados por cáncer de piel (Armstrom y Kricker, 2001).

Para fines prácticos al cáncer de piel se le ha dividido en dos grandes grupos: cáncer de piel no melanoma y melanoma.

Dentro del primer grupo se encuentra principalmente al carcinoma basocelular y al carcinoma epidermoide. Gutiérrez (2003) señala que existen otros tumores malignos en la piel como pueden ser carcinomas de glándulas sebáceas, sudoríparas, sarcomas o manifestaciones en piel de neoplasias internas, pero son de observación rara.

Carcinoma basocelular

El carcinoma basocelular (CBC) de acuerdo con Gutiérrez (2003) es el más común de todos. En términos generales expresa que se caracteriza por ser localmente invasivo, de crecimiento lento y escaso riesgo de metástasis (reproducción celular de la enfermedad). Además, afirma que el factor más importante involucrado en el desarrollo del cáncer de piel es la radiación ultravioleta (UV). En años recientes se han descrito los mecanismos por medio de los cuales la piel puede desarrollar un CBC; un ejemplo de ellos es la inmunosupresión inducida por las radiaciones UV la cual conlleva a una serie de eventos inmunológicos que si no son tratados oportunamente o en forma adecuada son capaces de deformar ciertas partes del cuerpo.

Los datos epidemiológicos que señala este autor es que es el cáncer más frecuente en la población blanca, en Estados Unidos la tasa anual es de 146 por 100,000 habitantes, pero estas cifras varían en todo el mundo, reportándose en Australia una tasa hasta de 726 por

100,000 habitantes. La topografía de mayor frecuencia fue la cara con un 82.3 por ciento y de ésta la nariz principalmente.

También agrega que la tasa del CBC se incrementa con la edad, aunque actualmente se reportan un número creciente de casos en pacientes jóvenes. Los estudios a nivel mundial expresan una mayor tasa en hombres, aunque en años recientes se ha incrementado en mujeres.

Carcinoma epidermoide

También llamado según Salazar (2017) epitelioma espinocelular o carcinoma de células espinosas, este se trata de una neoplasia maligna derivada de las células de la epidermis o sus anexos, con capacidad de producir metástasis a ganglios regionales u otros órganos.

Gutiérrez (2003) destaca que esta variedad de cáncer de la piel ocupa el 2º lugar en frecuencia y que a nivel mundial se ha observado un aumento en un 4 por ciento a 8 por ciento anual. También refiere que afecta más al sexo masculino con un predominio después de los 60 años, y prevalece en personas de piel blanca que se exponen en forma importante a las radiaciones solares.

Este cáncer deriva, según la descripción del autor, de las células de la epidermis o sus anexos y puede desencadenarse por agentes químicos (hidrocarburos), medios físicos (radiaciones ionizantes o ultravioleta), enfermedades virales y lo favorecen la inmunosupresión, ya sea por fármacos, trasplantes, así como inmunodeficiencia humana. Los factores de riesgo más importantes son la exposición solar, piel blanca, ojos claros, edad y tabaquismo. Pueden aparecer de nuevo o bien sobre lesiones precancerosas. Respecto al cuadro clínico predomina en la cara (alrededor del 50 por ciento) de ésta en labio inferior, mejillas y pabellones auriculares. Le siguen en frecuencia las extremidades, principalmente superiores, más común en el dorso de la mano.

Melanoma maligno

Gutiérrez (2003) expresa que es una transformación neoplásica de los melanocitos (células encargadas de producir melanina para protección solar) que afecta la piel en el 90 por ciento de los casos, pero puede aparecer en mucosas, globo ocular, y tracto gastrointestinal; tiene una gran capacidad para metastatizar. Afirma que este tumor es la causa del 75 por ciento de

muerres por cáncer de piel con un promedio de edad de 54 años, más común en mujeres que en el hombre, a diferencia de los anteriores. Su localización difiere mucho, pero la más frecuente corresponde a las extremidades inferiores, le siguen cabeza y cuello, extremidades superiores y tronco.

El diagnóstico temprano es particularmente importante ya que la supervivencia disminuye de manera drástica cuando la neoplasia se profundiza en la dermis. De acuerdo con datos epidemiológicos menciona que la incidencia ha aumentado en forma importante a partir de los años 70 en poblaciones de raza blanca en Estados Unidos, Australia, Nueva Zelanda y Europa central. Sin embargo, las cifras de mortalidad por otro lado han disminuido o se han estabilizado, quizá debido al diagnóstico oportuno y a las campañas de prevención.

Alfaro-Sánchez *et al.*, (2016) exponen que en México representa el 7.9 por ciento de los tumores de la piel y que su epidemiología es diferente a las de otros países; de la misma manera refiere que no se ha demostrado que su incidencia esté en aumento, hasta el momento, ya que en nuestro país existen subregistros que hace difícil su contabilización.

No se conoce con exactitud su desarrollo, sin embargo, se sabe de múltiples factores como son la predisposición genética, exposición a sustancias ambientales ya sean químicas, virus o radiaciones ionizantes y exposición a luz ultravioleta. Asimismo, Castanedo-Cázares *et al.*, (2016) señalan que existen características propias del individuo que predisponen a un riesgo mayor para desarrollar melanoma que se puede resumir de esta forma:

1. Caucásicos
2. Incapacidad de bronceado, tendencia a quemaduras solares.
3. Aumento del número de lunares, o lesiones cutáneas pigmentadas.
4. Presencia lesiones cutáneas pigmentadas congénitos.
5. Disminución de respuesta inmunológica.
6. Historia familiar de melanoma.

Castanedo-Cázares *et al.*, (2016) también indican que existen cuatro tipos básicos de melanoma que cuentan con características histológicas, clínicas y de comportamiento biológico diferentes entre sí, estos son: melanoma léntigo maligno, melanoma de extensión superficial, melanoma nodular y melanoma acral lentiginoso.

Melanoma léntigo maligno: Se observa en cara o cuello, en personas de edades avanzadas, como una mancha hiperpigmentada, irregular, de larga evolución. Es el menos agresivo, puede permanecer *in situ* por varios años cuando hay induración o se ulcera, indica su progresión hacia un melanoma invasor.

Melanoma de extensión superficial: Al inicio es una lesión plana, con diferentes tonos de pigmentación, se pierden los pliegues normales de la piel, conforme avanza puede mostrar una zona infiltrada o elevada, esta forma es más común en la raza blanca.

Melanoma nodular: Es un tumor saliente, cuya superficie puede ser lisa o vegetante, de color casi negro o azuloso. Puede carecer o ser muy escaso el pigmento y se le conoce como amelánico y puede confundirse con otras entidades. Esta variedad casi desde el inicio tiene crecimiento vertical y es invasor, con mucha tendencia a diseminarse.

Melanoma acral lentiginoso: Empieza como una lesión macular, con pigmentación irregular de diversos tonos, se extiende en forma periférica o radial, para después hacerse infiltrada, queratósica con lesiones elevadas o vegetantes en el centro. Se localiza en la región palmar o plantar o bien áreas subungueales de manos y pies. Esta forma y el nodular son las formas más frecuentes en nuestro país.

La mortalidad y morbilidad de cáncer de piel ha generado una situación preocupante en cuestión de salud pública en los últimos años, pues la radiación ultravioleta (UV) además de conformar una parte de la energía de radiación solar es uno de los agentes principales en el desarrollo de cambios biológicos.

A nivel nacional, se necesitan programas de protección solar para dar a conocer los peligros para la salud de la radiación UV y lograr cambios en actividades y estilos de vida, con el fin de disminuir la tendencia al posible aumento continuo de los casos de cáncer de piel. Además, González-Púmariega *et al.*, (2009) mencionan que existen ventajas con acciones de prevención; para la salud, los programas educativos eficaces pueden favorecer las economías de los países, al reducir la carga financiera que suponen para los sistemas de atención de salud los tratamientos del cáncer de piel y de las cataratas.

A nivel mundial la inversión en el tratamiento de enfermedades es muy alta, cuando en muchas ocasiones se pueden prevenir. El índice UV solar mundial debe constituir como componente importante en salud pública para tomar este tipo de acciones a distintas escalas.

Cabrera y López-Nevot (2006) afirman que la exposición cutánea a la radiación solar ultravioleta (UV) es capaz de inducir fenómenos alérgicos, degenerativos, inmunosupresores y carcinogénicos; estiman que la radiación UV ocasiona del 50 al 90 por ciento de las neoplasias cutáneas (formaciones tumorales). Para México, señalan que el carcinoma basocelular representa aproximadamente el 63 por ciento y el espinocelular el 25 por ciento. Aunque el melanoma es menos frecuente (10 por ciento), la mayoría de las defunciones relacionan con este tipo de cáncer. El melanoma se asocia a la exposición solar intermitente, mientras que la exposición tanto aguda como acumulada se relaciona con la aparición de carcinomas basocelulares.

De igual manera, recalcan que el aumento progresivo en su incidencia, incluso en personas jóvenes, resalta la necesidad de prevenir la radiación UV solar. No obstante, la información con respecto a la cantidad de radiación solar ultravioleta, la dosis de exposición y la relación dosis-respuesta en la aparición de estas consecuencias es escasa, ya que la mayoría de la radiación UV incide sobre la piel mediante dosis continuas o intermitentes.

CAPITULO 2. METODOLOGÍA

El análisis de mortalidad por melanoma y la distribución de radiación ultravioleta a nivel estatal y municipal abarcaron el procesamiento estadístico, interpretación de series de tiempo y obtención de datos e investigación bibliográfica (Figura 2.1). Además, se incluyeron dos variables adicionales, cobertura y altura de nubes a nivel nacional; ya que son las principales responsables en la modificación de la dinámica de la radiación ultravioleta en la atmósfera.

2.1 Datos

Se utilizaron datos de mortalidad por melanoma, radiación ultravioleta, cobertura de nubes y altura de nubes con el fin de analizarlos a través de sistemas de información geográfica y tratamiento estadístico. Debido a los objetivos de la investigación y a la escala del análisis se obtuvieron datos al tope de la atmósfera en formato ráster de los satélites NASA GSFC NIMBUS7 y EPTOMS. La información recabada cuenta con períodos prolongados de tiempo de 1980 al 2015 y varían en su resolución espacial y temporal. Estos datos se encuentran disponibles en línea y representan una fuente de información muy importante para el desarrollo de la investigación y para su consulta general.

El análisis espacial se estableció a escala nacional con el fin de desarrollar un diagnóstico a nivel país. Por otro lado, el análisis temporal abarcó distintas series de tiempo. Para el caso de las variables de mortalidad por melanoma y cobertura de nubes se dispusieron datos de 1980 a 2015. La información de radiación ultravioleta tiene variación temporal, ya que se consiguió en dos períodos, el primero de 1980 a 1993 y el segundo de 1996 a 2004. De igual manera los datos obtenidos para la variable de altura de nubes difieren en tiempo, para este caso se tuvieron datos accesibles del año de 1982 a 2015.

A continuación, se describirán los datos y las fuentes de información de dónde se obtuvieron.

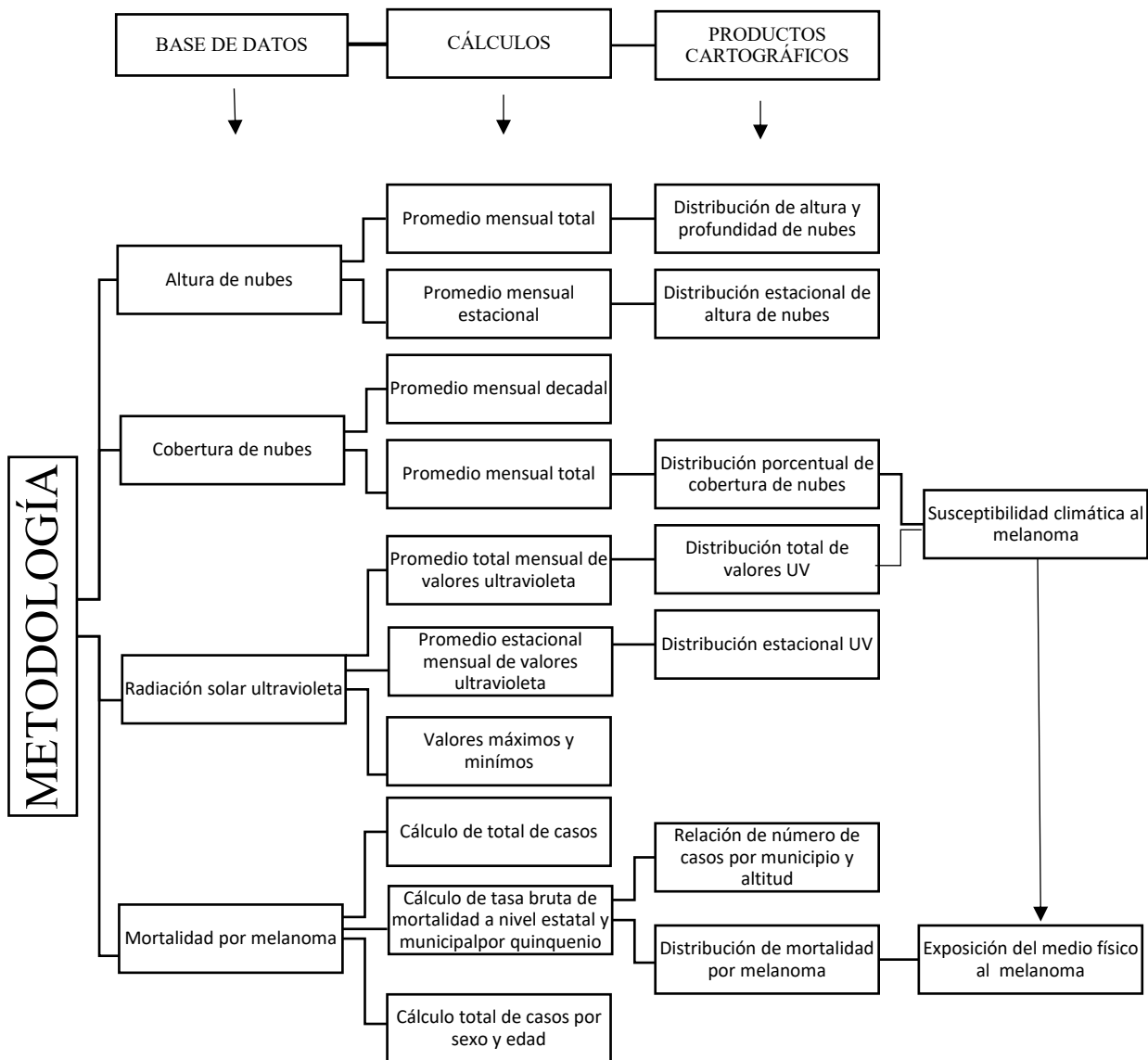


Figura 2.1: Esquema general metodológico.

2.1.1 Mortalidad por melanoma

Los datos nacionales utilizados para el análisis de la distribución de mortalidad por melanoma en México se obtuvieron de la base de datos de “Mortalidad por melanoma en México” proporcionada por Acuña Soto (2018) de la Facultad de Medicina, UNAM; los cuales se construyeron con base a una recopilación del número de casos de defunciones por melanoma, registrados por el Sistema Nacional de Información de Salud (SINAIS) y de la Dirección General del Registro Civil de la Ciudad de México (DGRCIVIL).

El análisis temporal se creó de acuerdo con quinquenios en un período de 1980 a 2015, con el objetivo de hacer el tratamiento estadístico a partir de los censos y conteos nacionales de población, elaborados por el INEGI.

El estudio de la mortalidad se realizó a través de indicadores que permitieron medir la tasa de mortalidad y comportamiento; esto fue posible con datos absolutos, es decir, de hechos ocurridos, en este caso, defunciones y la población total. También se analizaron medidas relativas, que se expresaron en tasas, las cuales refieren, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2000), a la frecuencia relativa con la que ocurrieron ciertos hechos en la población durante un tiempo determinado, generalmente un año.

De esta manera, el cálculo de las tasas brutas de mortalidad por quinquenio se estimó con la siguiente expresión:

$$d^z = \frac{D^z}{N^z} * 100,000 \text{ habitantes}$$

Donde:

d^z es la Tasa Bruta de Mortalidad

D^z son las Defunciones ocurridas en el año z

N^z la población total del año z

Es necesario mencionar que se ponderó una constante, en este caso el valor 100,000 corresponde a los habitantes, todo esto para la adquisición de valores significativos. El cálculo de las tasas de mortalidad tuvo como objetivo hacer homogéneos los datos de acuerdo con la población, tanto a nivel estatal como municipal y determinar una representación espacial que indique la existencia de *corredores / hot spots* o áreas de mortalidad por melanoma.

Toda la información fue depurada en una paquetería estadística (Excel), en la cual se filtraron variables como año, número de casos, sexo, edad, municipio y estado para organizar los datos y posteriormente fue procesada algebraicamente para la obtención de resultados en gráficas y tablas.

2.1.2 Radiación Ultravioleta

Para esta variable se utilizaron datos proporcionados por los satélites de la NASA GSFC TOMS NIMBUS7 del cual se obtuvo información del primer período que abarca de enero de 1980 a abril de 1993 y GSFC TOMS EPTOMS que corresponde a la información obtenida de agosto de 1996 a julio de 2004.

La información se encontró disponible en la categoría de características de las nubes y radiación de la Biblioteca de Datos Climáticos de la página del Instituto Internacional de Investigación para el Clima y la Sociedad (IRI por sus siglas en inglés) de la Universidad de Columbia

(<http://iridl.ldeo.columbia.edu/docfind/databrief/index.html?SetLanguage=es&sem=iridl%3ACloud-Characteristics-and-Radiation-Budget>).

Velázquez (2007) menciona que el proyecto de ambos satélites dio inicio en octubre 1978, con el lanzamiento del primer satélite llamado GSFC TOMS NIMBUS7, el correcto funcionamiento de este satélite se extendió hasta abril de 1993, utilizado en un período de vida menor a 15 años. Una vez inhabilitado este satélite se tuvo un período de más de 2 años sin mediciones. En el tiempo sin mediciones se corrigieron y se adaptaron nuevos mecanismos para la medición UV. En julio de 1996 se lanzó el satélite GSFC TOMS EPTOMS para continuar las mediciones de ozono y radiación solar ultravioleta, pero dejó de hacer mediciones en 2004 por fallas instrumentales y falta de presupuesto.

De ambos satélites se descargó la información en formato Geo Tiff con una cobertura nacional en las matrices diarias que se ordenan en grupos latitudinales que van desde 10° Norte hasta 35° Norte. La longitud está cubierta de 80° Oeste a 120° Oeste; la lectura de los datos se expresa a través de $J m^{-2}$ (Joule sobre metro cuadrado) esta unidad se encarga de

medir energía y calor; y fue utilizada por ser un promedio estimado mensual de irradiación ultravioleta.

La precisión de estos satélites de acuerdo con Velázquez (2007) es de ± 5 por ciento, con una resolución espacial de 1.25×1.25 grados con una medición al tope de la atmósfera. La información fue procesada en un SIG's (Arc Gis 10.1) en formato ráster para distinguir los valores mínimos y máximos y visualizar la distribución e intensidad de esta variable en el país. Además de identificar áreas con altos valores y hacer una superposición espacial con las áreas con mayor presencia de casos de mortalidad para así poder determinar si existe una relación.

2.1.3 Cobertura de nubes

Los datos de cobertura de nubes se obtuvieron de la guía de datos climáticos del Centro Nacional de Ciencias de la Atmósfera y Centro Nacional de Observación de la Tierra de los Estados Unidos de América (NCAR y UCAR, por sus siglas en inglés, respectivamente) en un período de tiempo de 1980 a 2015 con valores de promedios mensuales decadales.

Se descargaron de la versión de CRU TS (serie temporal) 3.24.01 con una resolución de 0.5×0.5 grados, en una malla de cobertura mundial producidas por la Unidad de Investigación Climática (CRU por sus siglas en inglés) en la Universidad de East Anglia, Reino Unido (http://data.ceda.ac.uk/badc/cru/data/cru_ts/cru_ts_3.24.01/data/cld).

La lectura de los datos se expresa a través de porcentajes en una escala de 0 a 100. La información descargada fue en formato *dat.nc*, para posteriormente convertirlo en archivo ráster a través de la herramienta Make NetCDF Raster Layer de la caja de herramientas de Arc Gis versión 10.1, para su visualización e interpretación fue necesario convertir este archivo a formato *shapefile* (shp) para conservar sus propiedades y atributos como vectores.

Fue necesario un recorte latitudinal y longitudinal a través de la herramienta de clip ráster en la caja de herramientas de gestión de datos en Arc Gis 10.1 para superponerlo con la variable de UV. El recorte abarcó la latitud 10° Norte hasta 35° Norte y para la longitud fue de 80° Oeste a 120° Oeste para cubrir el territorio nacional.

La cobertura de nubes es una variable que afecta la intensidad de radiación solar ultravioleta, por ello la finalidad de desarrollar esta información fue determinar el porcentaje

de cobertura nubosa en el país y superponerla espacialmente con la distribución de UV, para encontrar si existe relación espacial entre ambas variables climáticas.

2.1.4 Altura de nubes

Para la variable de altura de nubes se dispuso de información de la Biblioteca de Datos de Instalación de Aplicación de Satélites sobre Monitoreo del Clima (CM SAF por sus siglas en inglés) en la página de la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT por sus siglas en inglés) en un período de 1982 a 2015 (https://navigator.eumetsat.int/product/EO:EUM:CM:MULT:CLARA_AVHRR_V002).

La información fue descargada en formato dat.nc del proyecto CLARA-A2 el cual proporcionó propiedades de las nubes derivados del sensor AVHRR a bordo de los satélites NOAA y METOP. Este tipo de archivo se procesó de la misma manera que la variable anterior para lograr su visualización e interpretación. Los valores expresados se encontraron en promedios mensuales disponibles en una cuadrícula global con resolución de 0.25 x 0.25 grados, la lectura de los datos se encuentra en metros.

Fue necesario un recorte latitudinal y longitudinal acorde a la localización geográfica del país para relacionarlo con las variables de UV y cobertura de nubes, este recorte fue desarrollado por medio de la herramienta de clip ráster en la caja de herramientas de gestión de datos en Arc Gis 10.1. El recorte abarcó la latitud 10° Norte hasta 35° Norte y para la longitud fue de 80° Oeste a 120° Oeste como en las variables anteriores.

El desarrollo de esta variable tuvo como propósito identificar la distribución de nubes profundas y poco profundas en el país, y deducir el tipo de nubes de acuerdo con su altura. Es importante recalcar que la profundidad de la nube interfiere en la intensidad o penetración de la radiación ultravioleta, de tal manera la superposición espacial de estas variables nos proporciona un panorama de la existencia de relación entre nubosidad y radiación ultravioleta.

2.2 Métodos

El abordaje de esta investigación giró en torno a la teoría y técnicas que abarca la Geografía Médica, si bien este término ha tenido variaciones durante las tres últimas décadas, es necesario recalcar que el eje del concepto fue el tradicional, es decir, el estudio de los efectos del medio ambiente en la salud de las personas, la distribución geográfica de las enfermedades, además del estudio de los factores ambientales que influyen en su propagación, al tener en cuenta la espacialidad y temporalidad, de acuerdo con lo que define Cuellar y Gutiérrez (2014).

Existen diversos métodos que se aplican en los estudios de Geografía Médica; para esta investigación se eligió el método de superposición cartográfica o coincidencia espacial, el cual consiste en la combinación de dos o más capas o mapas en donde cada celda (píxel) de cada capa o mapa se referencía sobre la misma localización geográfica, con lo cual se genera una nueva capa o mapa que contiene la combinación de la información de los insumos de entrada (Eydel *et al.*, 2011). Además, conlleva la realización de una clasificación espacial de lo general a lo particular, lo cual se transforma en un procedimiento que permite poner límites en el espacio geográfico, construir visualmente inferencias y definir áreas únicas e irrepetibles según refiere Buzai (2012).

Dentro de este método se encuentran distintos procedimientos para plantear estadísticamente los datos, Villerías (2017) expresa que el Análisis Espacial Cuantitativo (AEC) y el Análisis Exploratorio de Datos (AED) son métodos descriptivos y estadísticos que proporcionan resultados espaciales más completos. El AEC constituye una forma de ver la realidad y comprenderla, ya que ayuda a definir los elementos constitutivos de los fenómenos, sus distribuciones espaciales y la manera como éstos se comportan bajo ciertas condiciones. Mientras que el AED podría definirse como el conjunto de herramientas gráficas y descriptivas utilizadas para el descubrimiento de patrones de comportamiento, de esta manera, es posible encontrar formas explicativas a grandes bases de datos.

Buzai y Baxendale (2012), mencionan que el Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) se considera una metodología esencial del AEC, ya que realiza las primeras aproximaciones al estudio de la estructura de la información socioambiental-espacial en una determinada área de estudio.

Según Buzai y Baxendale (2009) expresan que el análisis exploratorio de datos espaciales tiene como objetivo proporcionar información estructural del comportamiento de cada variable (análisis univariado), así mismo de las relaciones que existen entre dos (análisis bivariado) y tres o más (análisis multivariado) variables, lo cual permite generar técnicas que descubren errores en la codificación de los datos, determinar casos anómalos (*outliers*), identificar localizaciones atípicas o atípicos espaciales (*spatial outliers*), hallar esquemas de asociaciones espaciales, agrupamientos (*clusters*) o puntos calientes (*hot spots*), que sugieren estructuras espaciales o en dado caso formas de heterogeneidad espacial.

De esta forma, esta investigación aplicó un análisis multivariado, en el cual las variables de mortalidad por melanoma, radiación ultravioleta, cobertura y altura de nubes se superposicionaron espacialmente para determinar áreas en las cuales existieran dos relaciones espaciales: la primera, entre intensidad de radiación ultravioleta y distribución de cobertura nubosa (susceptibilidad física). Estas relaciones se identificaron inicialmente a través de las herramientas intersección vectorial del geoprocésamiento espacial, la cual determino características comunes entre las variables y posteriormente se desarrollaron por medio de matrices de ponderación para otorgar un rango a cada valor.

El objetivo fue establecer asociaciones espaciales, agrupamientos o puntos calientes con estas variables y generar una perspectiva de este problema. Por lo tanto, estos métodos tienen un carácter descriptivo y estadístico. Los métodos gráficos del análisis exploratorio de datos espaciales utilizados se basaron principalmente en dos elementos, la distribución y su asociación espacial.

Buzai (2009) menciona que el concepto de la distribución espacial considera el conjunto de entidades de un mismo tipo se reparte de una determinada manera sobre el espacio. Estas pueden ser puntos, líneas o polígonos (áreas) con diferentes atributos asociados en sistema vectorial o localizaciones dispersas que representan puntos y zonas con clases similares continuas en sistema ráster.

También refiere que las distintas características medidas en entidades de naturaleza espacial difícilmente se distribuyen de manera homogénea, por lo tanto, es común que las distribuciones que presentan concentraciones que varían de un sector a otro. Generalmente se consideran de dos formas, las cuales se presentan adelante:

- *Como distribución puntual*, las entidades pueden tener una estructura espacial concentrada, aleatoria (sin patrón definido) o regular (distribución uniforme, también considerada dispersa).
- *Como intensidad*, cualquier variable puede ser distribuida en un área de estudio con base a los procedimientos típicos mediante la selección de intervalos de clase y como densidad, la distribución espacial podría ser considerada como frecuencia por los hechos sucedidos en el espacio gráfico.

En el caso de la asociación espacial Buzai (2009) expresa que el concepto considera el estudio de las semejanzas encontradas al comparar distintas distribuciones espaciales. Refiere que la forma de comparación más clara y directa es el análisis visual que se puede realizar con posterioridad a la superposición cartográfica de ambas distribuciones espaciales. A través de este procedimiento, una distribución espacial *A* se puede superponer a una distribución espacial *B* y de esa manera verificar su grado de asociación con base una proporción de correspondencia o relación. Cuanto más grande sea la superficie de superposición mayor será la asociación existente en ellas.

De tal manera, de acuerdo con Ramírez (2006) el tipo cartográfico empleado en esta investigación se desarrolló desde la perspectiva de la cartografía médica la cual comprende la representación de patrones espaciales de la salud y enfermedad que derivan en la distribución o localización de complejos patógenos, además de la identificación de los factores ambientales que favorecen su propagación. A su vez, también se pretendió utilizar el enfoque de estudio de difusión médica, el cual se dedica a estudiar o modelar la difusión temporal y espacial de las enfermedades o fenómenos médicos.

Los métodos y técnicas que se abordaron de manera espacial favorecieron el análisis de las unidades político-administrativas que dividen el territorio en un mosaico de perfecta continuidad. Al ser un diagnóstico nacional, estas características dieron ventaja porque se reconocieron valores máximos y mínimos en los estados y municipios del país, asimismo se identificaron áreas susceptibles a melanoma y con alta tasa de mortalidad de esta.

2.3 Clasificación de los datos

La agrupación de los datos se enfocó en el análisis de la información espacial por medio de los métodos de *cuantiles* y *natural breaks* que proporciona las propiedades de los datos en el sistema de información geográfica Arc Gis 10.1 con el objetivo de distribuir los valores de manera natural y equitativa para la representación completa y real de los datos.

Las variables de cobertura y altura de nubes se ordenaron con el método de *cuantil*, en esta agrupación según refieren Smith *et al.*, (2018) cada clase contiene un número igual de características, y asigna el mismo número de valores de datos a cada clase, es decir, las características se agrupan en números iguales. No hay clases vacías o clases con muy pocos o demasiados valores, lo cual en cierta medida resultó un problema debido a que las características similares se pueden colocar en clases adyacentes, o las características con valores muy diferentes se pueden colocar en la misma clase lo cual provocaría una distorsión de los resultados. Sin embargo, este problema se minimizó al generar una cantidad exacta (cinco) de rangos o clases para representar en su totalidad los datos; que permiten la visualización de los valores mínimos y máximos, además de los intermedios, sin distorsionar la información. La clasificación de cuantiles resultó adecuada porque los datos de estas variables se encuentran distribuidos linealmente y de manera porcentual lo que nos indica que en todo el país hay un mínimo de información.

Para el caso de las variables de radiación ultravioleta y número de casos de mortalidad por melanoma, estas se agruparon por el método de clasificación de *natural breaks* en el cual las clases se basan en agrupaciones naturales inherentes a los datos, además, se identifican los saltos de clase que agrupan mejor los valores similares y que maximizan las diferencias entre las clases. Las características se dividen en clases cuyos límites se establecen donde hay diferencias relativamente grandes en los valores de los datos (Smith *et al.*, 2018). La elección de este método se fundamentó porque al agrupar la información con los métodos manuales y por cuantiles se modificaba de manera radical la distribución de la información, por ello se eligió este método, porque representa de manera natural los valores mínimos y máximos. De esta manera se logró una visualización concreta de la intensidad de UV y la ocurrencia de casos de mortalidad por melanoma que va de muy alta a muy baja, sin hacer alteraciones estadísticas.

2.4 Normalización de los datos

Para eliminar las diferencias de resolución espacial fue necesario realizar una homogenización espacial por medio un rescalamiento de 0.25 x 0.25 grados en las variables de radiación ultravioleta, cobertura y altura de nubes, con el propósito de mantener una normalización espacial y así eliminar errores al superponerlos espacialmente y al desarrollar las relaciones. El rescalamiento se hizo en un sistema de información geográfica Arc Gis 10.1 con la técnica de reexportación de los datos ya que esta permite modificar el tamaño de celda o píxel. De esta manera, estas variables se lograron homogenizar en su resolución espacial sin eliminar o modificar sus atributos iniciales.

Debido a que estas variables se descargaron de distintas fuentes de información en una malla mundial y posteriormente se recortaron a escala nacional en una malla rectangular, presentaban continuidad de información en las partes oceánicas y en países fronterizos; por lo cual se recortaron los datos a la continentalidad del país por medio de un SIG (Arc Gis 10.1) a través de la caja de herramientas de análisis espacial en la categoría de extracción. La extracción o recorte se procesó aplicando una máscara. El resultado presentó la información dentro del país con lo cual se suprimieron errores de disparidad de valores máximos y mínimos de las partes oceánicas y países fronterizos.

Para el desarrollo de la superposición espacial no fue requerida una modificación en las unidades de los datos; por lo cual todas las variables mantuvieron sus propiedades de información y lectura de los datos sin alteraciones.

2.5 Relaciones espaciales

Para identificar el grado de relación entre las variables se construyó una matriz de ponderación. Una matriz de ponderación es una representación de la estructura espacial de los datos. Getis y Jared (2004) la definen como una cuantificación de las relaciones espaciales que existen entre las características de su conjunto de datos (o, al menos, una cuantificación de la forma en que conceptualiza esas relaciones). Debido a que la matriz de ponderaciones impone una estructura en sus datos, se seleccionó la ponderación simple en donde las características realmente interactúan entre sí, es decir, cada cruce tiene un valor y cada valor representa un rango.

Conceptualmente la matriz de ponderación es una tabla N x N (N es el número de características en el conjunto de datos). En ella hay una fila para cada característica y una columna para cada característica. El valor de celda para cualquier combinación de fila / columna dada es el peso que cuantifica la relación espacial entre esas características de fila y columna (Getis y Jared, 2004).

Para la relación de intensidad de UV y cobertura de nubes se empleó una matriz ponderada simple (Tabla 2.1) en la cual los ejes verticales y horizontales se encuentran evaluados según su posible incidencia de melanoma. De esta manera, en el eje de las X representada por la intensidad de UV se agregó una escala normal numérica aritmética invertida del 1 al 5, es decir, 5 refiere a muy bajo y 1 muy alto, y en el eje de la Y correspondiente a la cobertura de nubes se agregó de igual manera, una escala numérica aritmética normal en donde el valor mínimo 1 corresponde a muy bajo y el valor máximo 5 a muy alto, todo esto con la finalidad de poder diferenciar cada uno de los cruces. La finalidad del cruce fue vincular el menor porcentaje de cobertura nubosa con la mayor intensidad de UV, y viceversa.

Tabla 2.1: Matriz ponderada.

		<i>MB</i>	<i>B</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>MA</i>
<i>Cobertura de nubes</i>		5	4	3	2	1
<i>MB</i>	1	5	4	3	2	1
<i>B</i>	2	10	8	6	4	2
<i>M</i>	3	15	12	9	6	3
<i>A</i>	4	20	16	12	8	4
<i>MA</i>	5	25	20	15	10	5
<i>Radiación ultravioleta</i>						

Elaboración propia con base en Getis y Jared (2004).

Con esta ponderación se desarrollaron los siguientes cinco rangos (Tabla 2.2) con una gama de colores de alerta, similares a los de un semáforo, para representar la susceptibilidad a melanoma:

Tabla 2.2: Clasificación de rangos.

Rango	Valor	Color
Muy Bajo (MB)	1	Verde
Bajo (B)	2	Verde oscuro
Medio (M)	3	Amarillo
Alto (Alto)	4	Naranja
Muy Alto (MA)	5	Rojo

Elaboración propia.

Existen varios enfoques para realizar un análisis de superposición. Aunque los métodos difieren, todos siguen los mismos pasos generales para resolver problemas de varios criterios. Las herramientas de análisis de superposición permiten aplicar pesos a varias entradas y combinarlas en una sola salida.

2.5.1 Superposición ponderada

El análisis de superposición incluye un grupo de metodologías aplicadas en la selección de áreas o zonas adecuadas, así como en el modelado de adecuación. Sin embargo, según Chakhar y Mousseau (2008) también es una técnica para la aplicación de una escala común de valores en diversas entradas que son distintas entre sí para generar un análisis integrado. Estos autores describen a la superposición ponderada como la unión de varios *rásteres* con una escala de medición común y pondera cada uno según su importancia.

La herramienta superposición ponderada coloca los datos de entrada en una escala definida (la escala predeterminada es de 1 a 5), obtiene los pesos de entrada de cada ráster y los agrupa. Las ubicaciones más favorables para cada criterio de entrada se reclasifican y se colocan en los valores más altos, como el 5. En la herramienta superposición ponderada, los pesos asignados a los *rásteres* de entrada deben ser igual al 100 por ciento. Las capas se multiplican para cada celda y se agrupan los valores resultantes. La superposición ponderada presupone que los factores con menor cobertura de nubes y mayor intensidad ultravioleta

tienen como resultado los valores más altos en el ráster de salida; por lo tanto, identifica estas áreas como amenaza climática al melanoma.

La superposición ponderada evalúa los siguientes criterios para su desarrollo, de acuerdo con Chakhar y Mousseau (2008):

1. Selección de una escala de evaluación.

La escala de evaluación representa el rango de adecuación; los valores de uno de los extremos de la escala representan el contrario al otro extremo.

2. Establecer los valores de escala.

Los valores de celda para cada *ráster* de entrada en el análisis son valores asignados de la escala de evaluación. Esto hace posible la realización de operaciones aritméticas en *rásteres* que originalmente tenían valores diferentes. Pueden cambiar los valores predeterminados asignados a cada celda según la importancia.

3. Asignar los pesos a los *rásteres* de entrada.

Lo cual implica la clasificación por importancia de cada variable representada en cada *raster*. En este caso se asignó el 65% de importancia a la variable de UV por ser el principal agente físico en el desarrollo del melanoma; y a la cobertura de nubes se le otorgo el 35% por ser la principal variable en la dinámica y atenuación de la intensidad UV.

CAPITULO 3. RESULTADOS

3.1 Estacionalidad de la radiación UV

La distribución espacial de radiación ultravioleta y nubosidad presentan un arreglo temporal, por ello, para poder comprender su interacción y dinámica, en las siguientes figuras, se expone su estacionalidad.

La primavera (marzo, abril, mayo) (Figura 3.1) es considerada de acuerdo con Velázquez (2007) como una estación de transición, entre verano e invierno, los factores astronómicos no se encuentran en los máximos puntos (mínima o máxima declinación solar), por lo tanto, surgen características muy especiales de irradiación que van desde los 80 J/m² hasta poco más de los 140 J/m². Las zonas montañosas marcan la fuerte influencia que existe entre la radiación UV y la altitud-latitud, este vínculo existente refuerza la relación entre los factores astronómicos y la cantidad que incide sobre la superficie, además de las características topográficas del país.

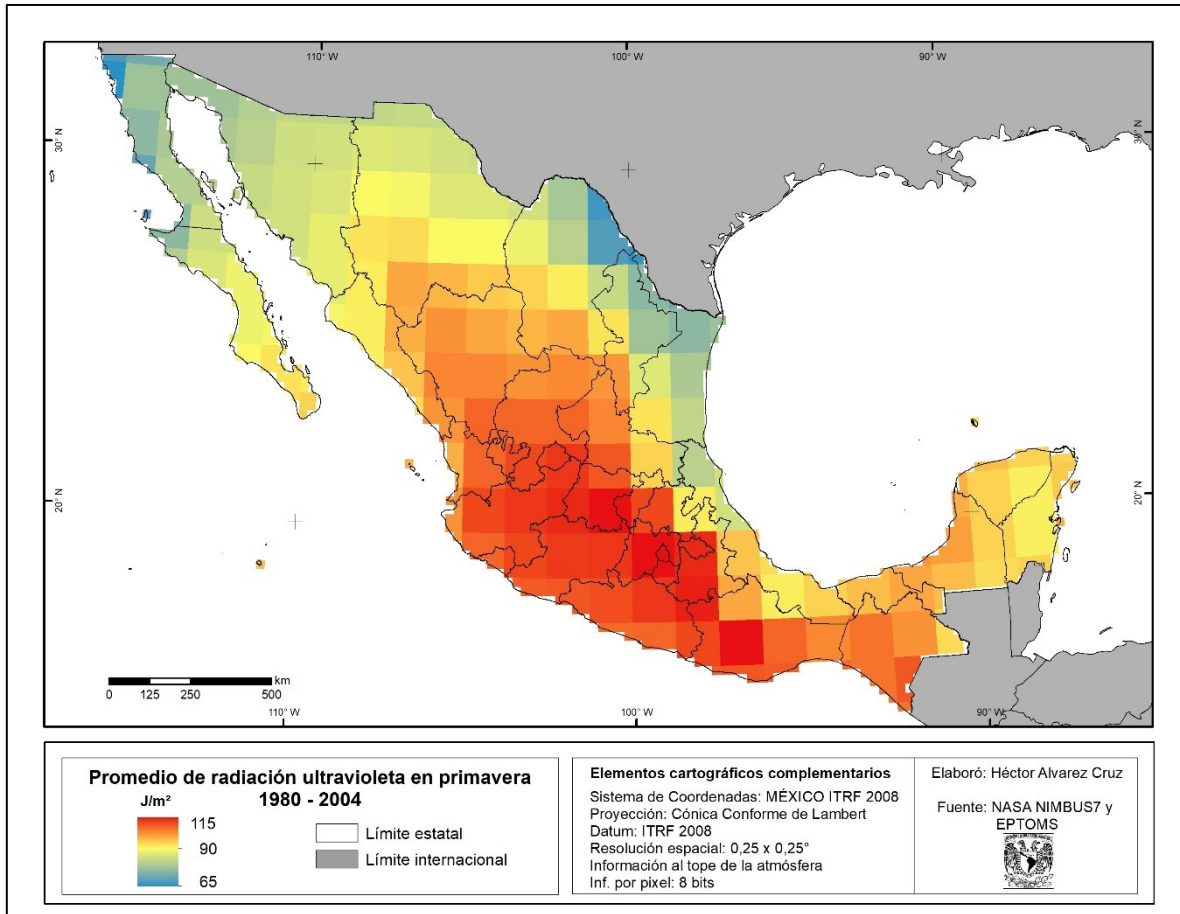


Figura 3.1.- Promedio de radiación ultravioleta en primavera 1980-2004.

Fuente: Elaboración propia: con base en NASA TOMS NIMBUS7 Y TOMS EPTOMS (2004).

Sin embargo, en el caso de las zonas tropicales, como lo es la posición de México, cuando la declinación solar coincide con la latitud de una determinada zona tropical, la radiación solar incide perpendicularmente a la superficie terrestre. Durante los días próximos a esta coincidencia entre declinación solar y latitud (zonas tropicales), los índices UV aumentan de manera significativa, particularmente si se presentan condiciones de cielo despejado o parcialmente nublado (Mediavilla, 2004). Por ello, la estacionalidad de primavera para nuestro país presenta los valores más altos, y estos se encuentran principalmente en el Eje Neovolcánico y la Mesa Central.

En la época de verano (junio, julio, agosto) (Figura 3.2) se presenta un comportamiento estable, con valores que van desde los 100 J/m² hasta poco más de 130 J/m². Gran parte del territorio, en esta estación, se encuentra por debajo de los valores

máximos, la región de la Sierra Madre Occidental y la Mesa Central, presentan los mayores valores de irradiancia. Mientras en la parte del sur del país y la Llanura Costera del Golfo, tanto norte como sur, se presentan los valores más bajos.

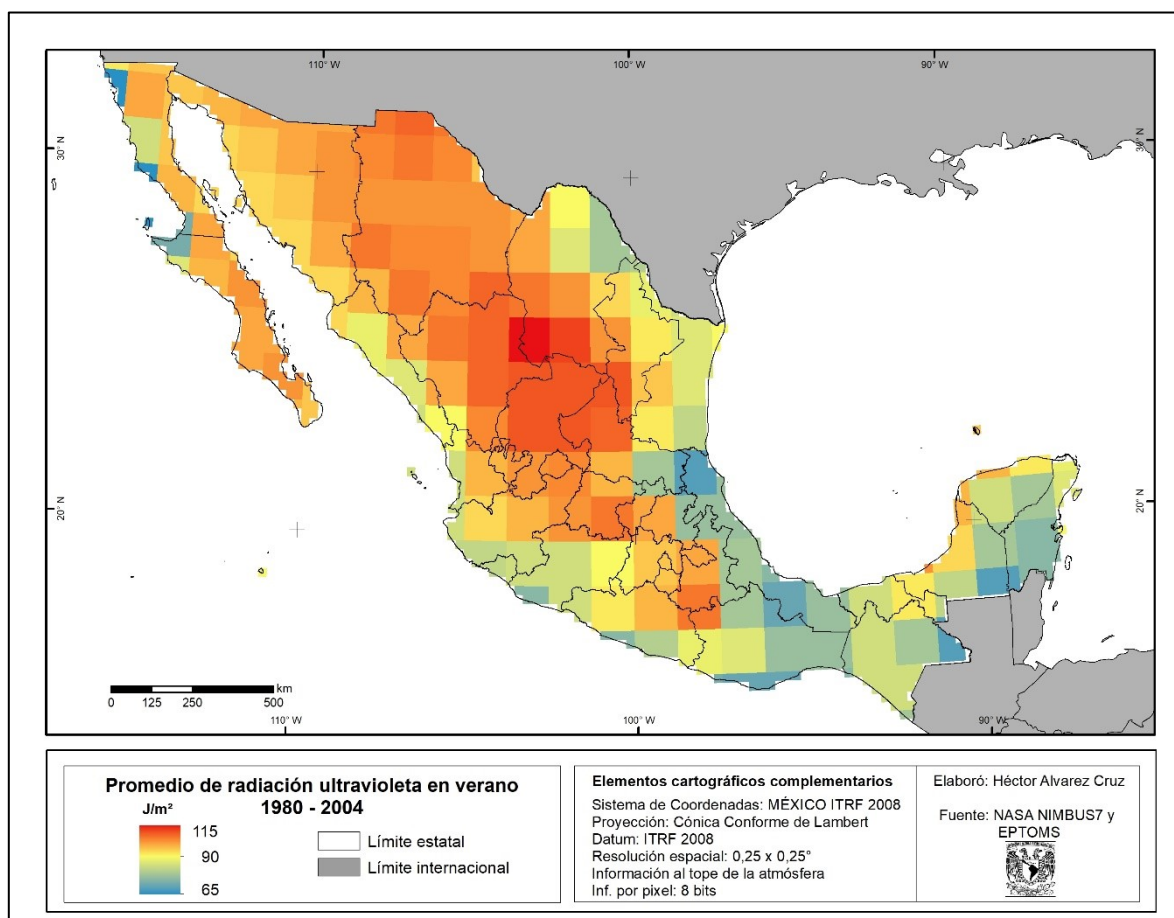


Figura 3.2.- Promedio de radiación ultravioleta en verano 1980-2004.

Fuente: Elaboración propia: con base en NASA TOMS NIMBUS7 Y TOMS EPTOMS (2004).

Es importante mencionar que en estos meses la duración de los días es mayor, por lo que las horas sol se incrementan. Mientras más largos los días, mayor es el número de horas de exposición a la radiación ultravioleta.

En la estación de otoño (septiembre, octubre, noviembre) (Figura 3.3) la declinación solar se encuentra en el Ecuador, este factor astronómico, en conjunto con la altitud y la latitud actúan como determinantes, lo cual provoca grandes variaciones de los valores que se observan; con un mínimo 60 J/m² y un máximo 103 J/m² a pesar de ser meses con situaciones similares a los de primavera en cuestión de distribución, en el otoño, esta se muestra con

dirección de sur-norte, los sistemas montañosos se encuentran bien limitados y expresan valores siempre mayores a las áreas contiguas, localizadas en la misma latitud. Las principales regiones que presentan valores altos son el Eje Neovolcánico Transversal y la Mesa Central. Mientras que en la parte fronteriza norte y la Llanura Costera del Golfo Norte presentan valores mínimos.

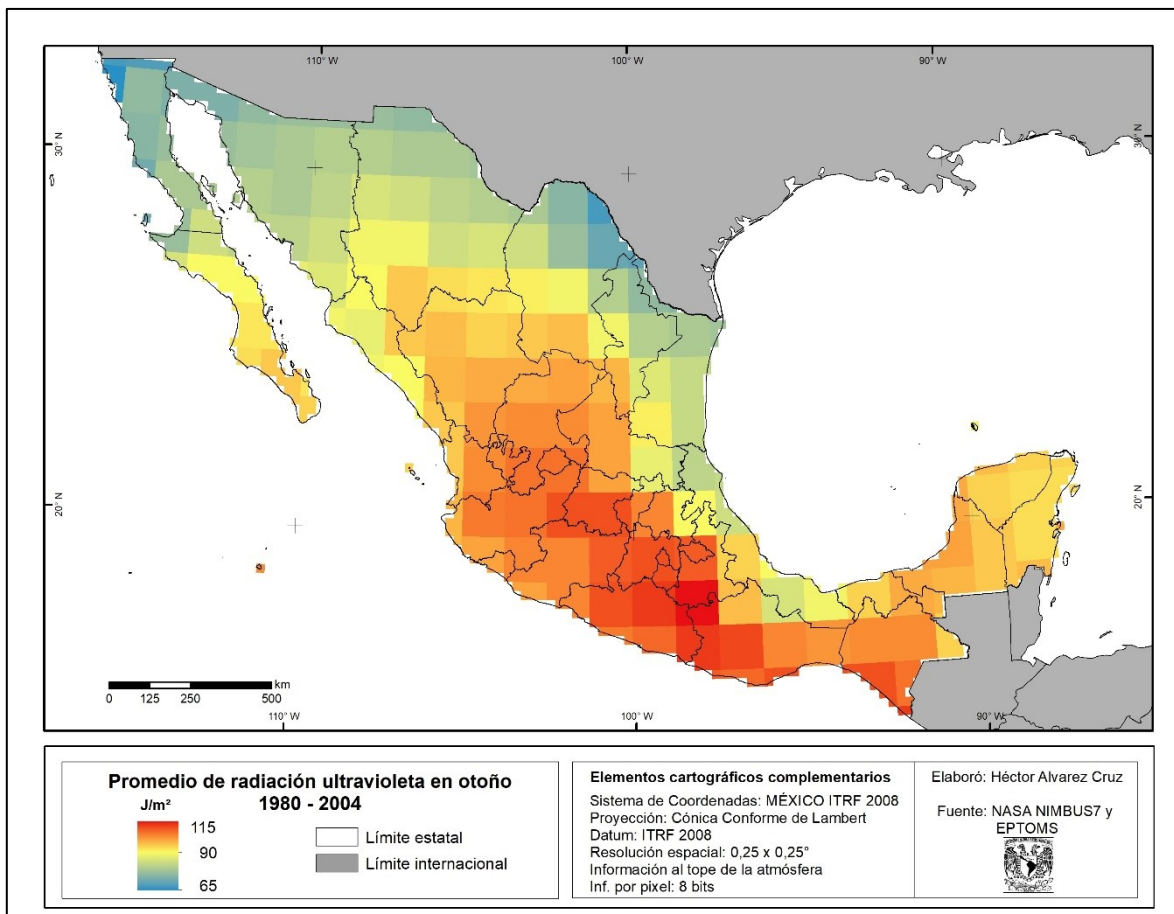


Figura 3.3.- Promedio de radiación ultravioleta en otoño 1980-2004.

Fuente: Elaboración propia: con base en NASA TOMS NIMBUS7 Y TOMS EPTOMS (2004).

En la época de invierno (diciembre, enero, febrero) (Figura 3.4), la declinación solar logra alcanzar su mínimo valor, por la influencia que ejerce la latitud y altitud la distribución de la radiación UV sigue un patrón de sur-norte que cambia por los sistemas montañosos de mayor altitud.

Los valores que se pueden encontrar durante esta época son de un máximo de 96 J/m² hasta un mínimo 31 J/m², localizados en las zonas de mayor altitud en la región del Eje Neovolcánico y la región de la Sierra del Sur, mientras que los mínimos se localizan en el extremo norte. Durante el invierno se presenta menor intensidad de UV en el país, sin embargo, eso no quiere decir que el daño a la exposición sea menor.

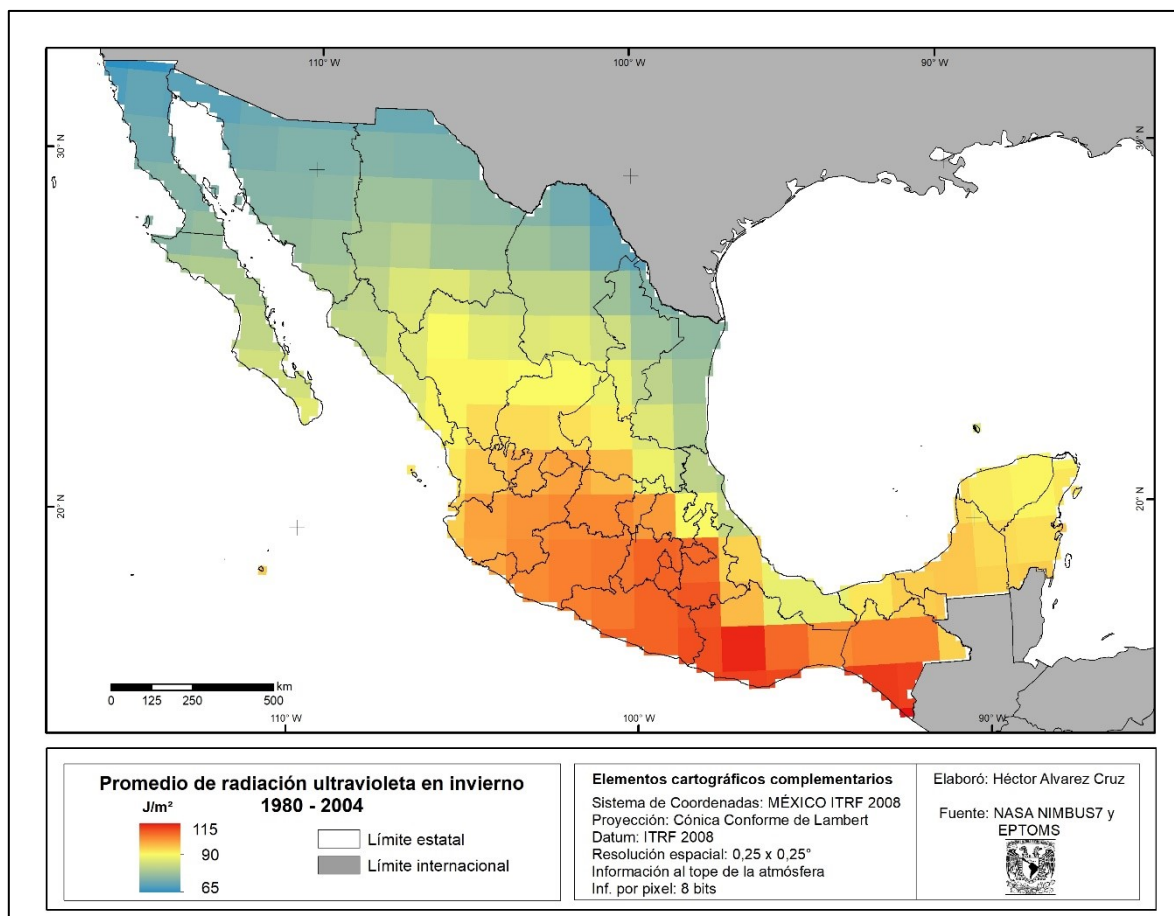


Figura 3.4.- Promedio de radiación ultravioleta en invierno 1980-2004.

Fuente: Elaboración propia: con base en NASA TOMS NIMBUS7 Y TOMS EPTOMS (2004).

En los mapas estacionales los valores se encuentran influenciados por los factores de latitud y altitud que son determinantes en la cantidad de UV que incide en la superficie. El promedio estacional de radiación UV muestra una distribución definida por los sistemas montañosos de nuestro país, las regiones de la Sierra Madre Occidental, la Mesa Central y el Eje Neovolcánico presentan los valores máximos de UV, la Sierra Madre del Sur también es una región con valores altos y medios; las zonas fronterizas norte tiene los valores mínimos

registrados, mientras que la Península de Yucatán presenta una distribución homogénea de radiación; por otra parte la Península de Baja California tiene un arreglo de intensidad dividido en sur y norte; en la parte sur sus valores son medios, no mayores a los 90 J/m² y en la parte norte los valores prevalecen entre los 65 y 75 J/m² (Figura 3.5).

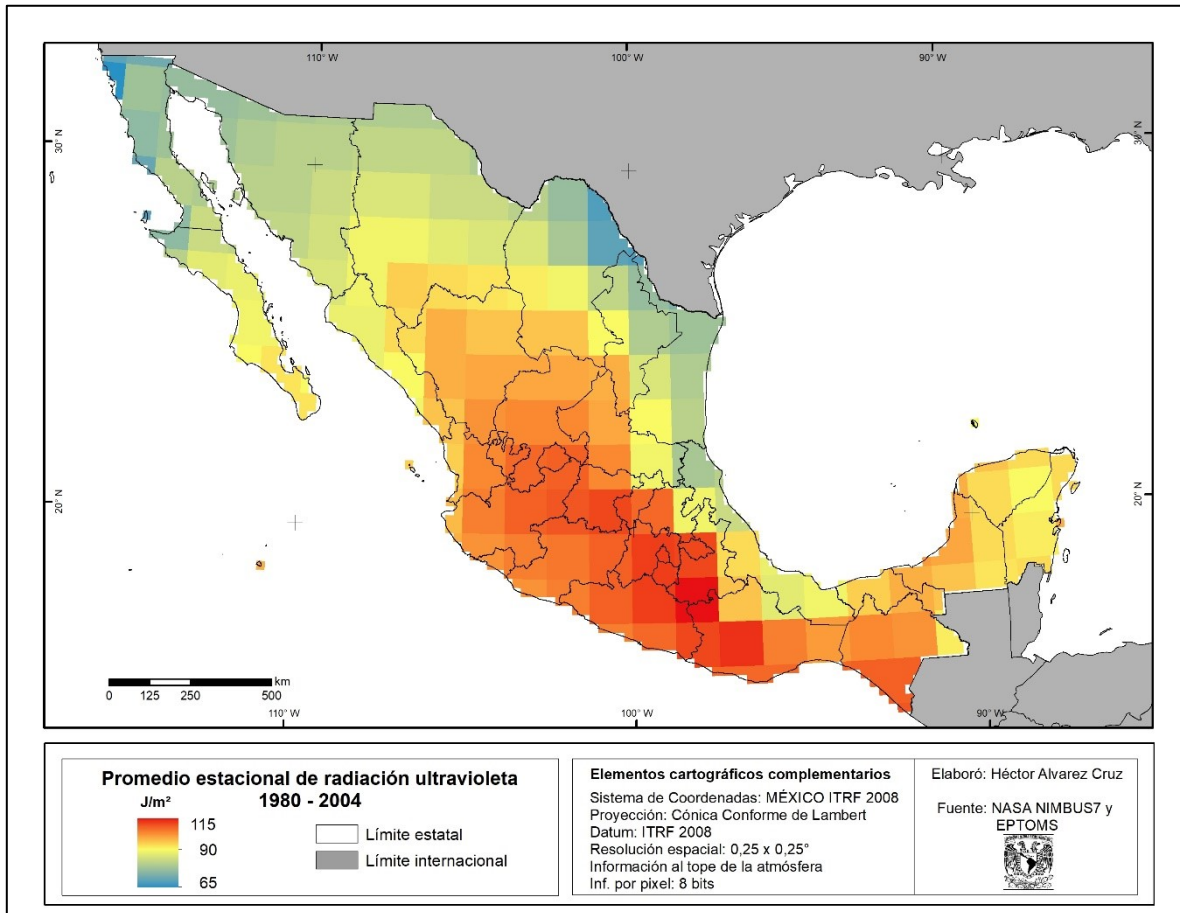


Figura 3.5.- Promedio estacional de radiación ultravioleta en primavera 1980-2004.

Fuente: Elaboración propia: con base en NASA TOMS NIMBUS7 Y TOMS EPTOMS (2004).

El comportamiento espacio temporal de la radiación solar ultravioleta para México indica una distribución relacionada con los factores climáticos de latitud y altitud, de esta manera, es difícil asegurar que esta distribución sea la más cercana a la realidad, por ello, la manera más conveniente de comprobar este arreglo espacio temporal es con la comparación de estos datos satelitales con estaciones en superficie, de esta forma se podrían eliminar

errores en la información y concretizar áreas puntuales de mayor y mínima intensidad. Sin embargo, esta comparación de información resulta complicada porque en nuestro país no existen las suficientes estaciones en superficie que midan radiación UV, sólo la Zona Metropolitana de la Ciudad de México cuenta con estaciones de monitoreo UV. En nuestro país los índices de rayos UV son altos en todas las temporadas, por ello la protección solar debe ser un asunto de todos los días.

3.2 Cobertura nubosa

Uno de los componentes más importantes dentro de la variabilidad climática en el planeta es la nubosidad. Las nubes forman parte importante de los fenómenos naturales de la atmósfera. El conocimiento de la distribución de la cobertura nubosa es relevante para el monitoreo de fenómenos naturales y la dinámica e interacción que existe con otros elementos climáticos y físico-biológicos.

La importancia de la nubosidad sobre la radiación UV en superficie está bien establecida, de acuerdo con Cohn (2017) la nubosidad tiene un efecto sobre la radiación UV, de modo que atenúa el espectro en la misma medida para todo el rango, sin modificar la estructura espectral. La cantidad de radiación UV atenuada por la nube será en función del tipo de nube y de su desarrollo. Las nubes más densas y oscuras bloquearán más eficientemente la radiación UV, mientras que las nubes blancas (nubes medias) de 2,500 a 5,000 metros y con menor desarrollo junto con las nieblas y calimas atenúan en menor medida la radiación UV. Se puede percibir menos calor en presencia de estas nubes y puede resultar engañoso, ya que genera quemaduras en la piel debido a la escasa atenuación de estas nubes en la región ultravioleta.

El aspecto de las nubes se determina por su naturaleza, dimensiones, el número y distribución en el espacio de las partículas que las constituyen. También depende de la intensidad y del calor de la luz recibida por la nube, así como de las posiciones relativas del observador y de la fuente de luz (astro que la ilumina) con respecto a la nube. Para describir el aspecto de las nubes, los principales factores que intervienen son la dimensión, la forma, la estructura y la disposición de esta, así como su luminancia y su color, y principalmente su altura (Morales, 2012).

El promedio de cobertura de nubes (Figura 3.6) en el país, muestra que la parte de la Sierra Madre Oriental y la Llanura Costera del Golfo Norte presentan los porcentajes más altos de cobertura, mientras que los valores mínimos se encuentran distribuidos en la Península de Baja California, la Llanura Costera del Pacífico y la Mesa Central, además de la Sierra Madre del Sur.

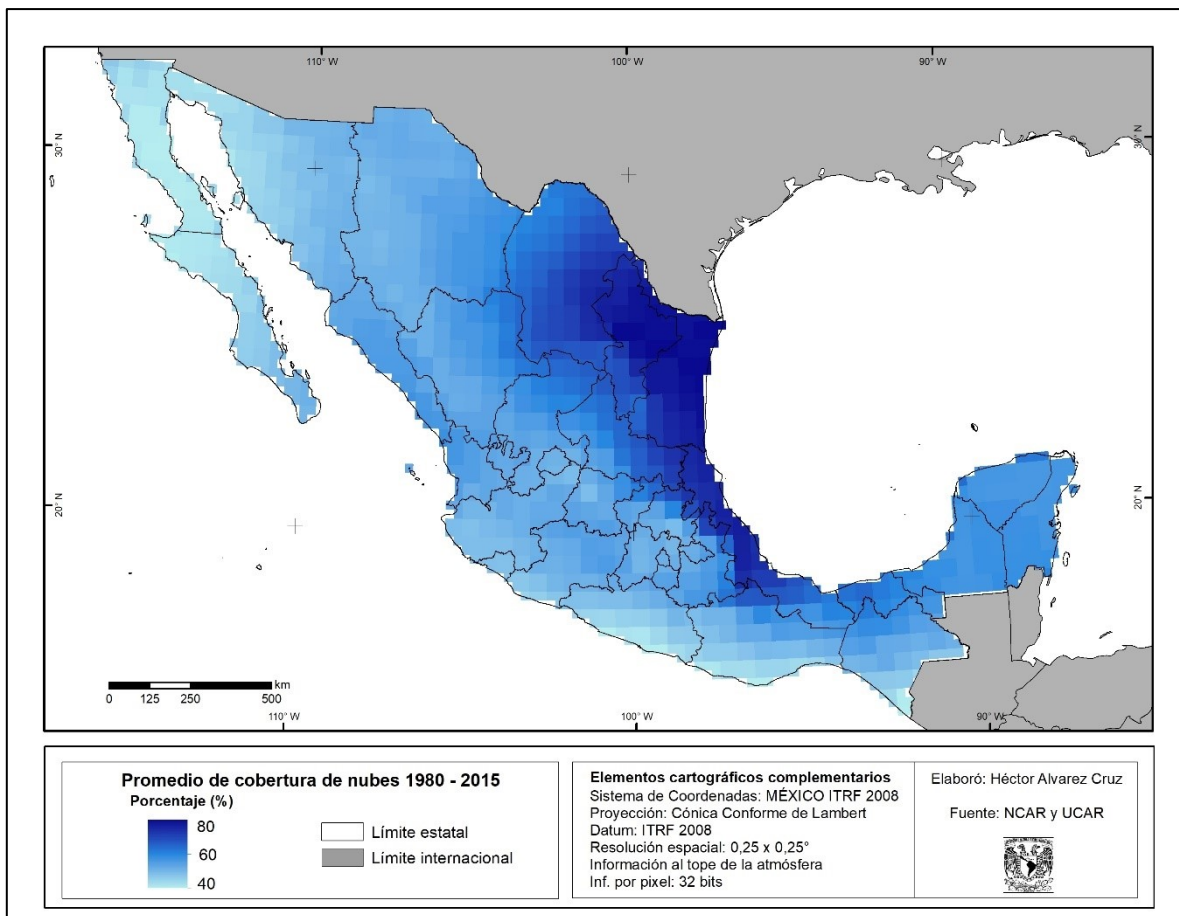


Figura 3.6.- Promedio de cobertura de nubes 1980-2015.

Fuente: Elaboración propia: con base en NCAR Y UCAR (2018).

Si las observaciones de nubes son completas, precisas y exactas, suministran gran cantidad de información sobre la estructura de la atmósfera; además permiten disponer de indicaciones que facilitan la predicción de la evolución del tiempo (Olcina, 2013). La forma y la altura de las nubes están en general influenciadas por la presencia de colinas, montañas aisladas o cadenas de montañas.

Las nubes altas suelen formarse por encima de los 5,000 metros; las nubes medias se suelen formar entre los 2,000 y los 7,000 metros; y las nubes bajas suelen formarse a una altura máxima de 2,000 metros (Tabla 3.1).

Tabla 3.1: Clasificación de tipos de nube de acuerdo con la altura.

Grupo	Altura de la base de las nubes	Tipo de nubes
Nubes altas	Trópicos: 6,000 – 18,000 m Latitudes medias: 5,000 – 13,000 m Región polar: 3,000 – 8,000 m	- <i>Cirrus</i> - <i>Cirrostratus</i> - <i>Cirrocumulus</i>
Nubes medias	Trópicos: 2,000 – 6,000 m Latitudes medias: 2,000 – 7,000 m Región polar: 2,000 – 4,000 m	- <i>Altostratus</i> - <i>Alto cumulos</i>
Nubes bajas	Trópicos: < 2,000 m Latitudes medias: < 2,000m Región polar: < 2,000m	- <i>Stratus</i> - <i>Stratocumulus</i> - <i>Nimbostratus</i> - <i>Cumulos</i> - <i>Cumulunimbus</i>

Fuente: Cohn, S. (2017).

Los procesos que explican la formación de una nube en un ambiente atmosférico favorable son los siguientes:

1. *Convección*. El calentamiento del aire provocado por el sol favorece su ascenso; en este proceso el aire se enfría y si alcanza el punto de rocío condensa y da lugar a la formación de una nube.
2. *Forzamientos orográficos*. Las nubes también se pueden formar cuando el aire asciende por una ladera; en este ascenso se enfría y alcanza el punto de rocío, de manera que se genera una formación nubosa sobre la ladera o en la culminación de un relieve. Son las denominadas «nubes orográficas».
3. *Encuentro de masas de aire de temperatura distinta*. Cuando una masa de aire cálido entra en contacto con una masa de aire más frío y pesado, el aire se ve obligado a ascender, sobre una superficie frontal que establece la frontera entre las masas de aire de naturaleza diversa. Son las nubes frontales, generadas por procesos dinámicos, que forman la tipología de nubes más frecuente en la atmósfera terrestre.
4. *Efectos topográficos*. Cuando una masa de aire caliente y húmedo se sitúa sobre una superficie más fría se enfría y alcanza el punto de saturación. Entonces el vapor

de agua se condensa y da lugar a la formación de una capa baja de nubes (niebla). Este mecanismo es frecuente en áreas costeras con aguas de corrientes marinas frías, en humedales y lagos.

Las nubes cubren gran parte del globo terrestre y juegan un papel importante en la determinación del clima, ya que actúan como reflectores de la radiación solar y como receptores de radiación terrestre. La cobertura nubosa está en constante cambio espacial y temporal y por lo tanto, la intensidad de radiación general y ultravioleta se ve afectada en su dinámica.

3.3 Estacionalidad de altura de nubes

La presencia de nubes y el contenido de humedad de la atmósfera provocan que la radiación solar disminuya. Hobbs y Deepack (1981) refieren que la fracción del cielo cubierto y el tipo de nubes afectan la intensidad y composición espectral de la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre. Este efecto es debido principalmente a la reflexión de la radiación ultravioleta por las gotas de agua o cristales de hielo que forman la nube. No siempre el efecto neto es una disminución de la irradiancia; en ocasiones, las nubes cubren gran parte del cielo, pero no ocultan el disco solar.

En estas circunstancias, la radiación solar reflejada por la superficie terrestre hacia arriba es reflejada a su vez por las nubes nuevamente hacia la Tierra, por lo que así aumenta el nivel de irradiancia en la superficie. Por ello la altura de nubes es una variable a consideración por las acciones que tiene en la dinámica de UV (Hobbs y Deepack, 1981). La siguiente secuencia de mapas presenta la altura de nubes de acuerdo con su estacionalidad.

En la época de primavera (marzo, abril, mayo) (Figura 3.7) la presencia de nubes con altura mayor a 6,700 metros se encuentra en las regiones costeras de nuestro país, principalmente en la Llanura Costera del Golfo Norte y Sur, la Llanura Costera del Pacífico también presenta nubes de este rango de altura. Estas nubes son generalmente *estratiformes* poco profundas y no provocan precipitación además están asociadas a sistemas de estabilidad atmosférica. Sin embargo, algunas nubes convectivas o de desarrollo vertical como las *cumulonimbus*, suelen presentarse en las regiones costeras en ambos litorales.

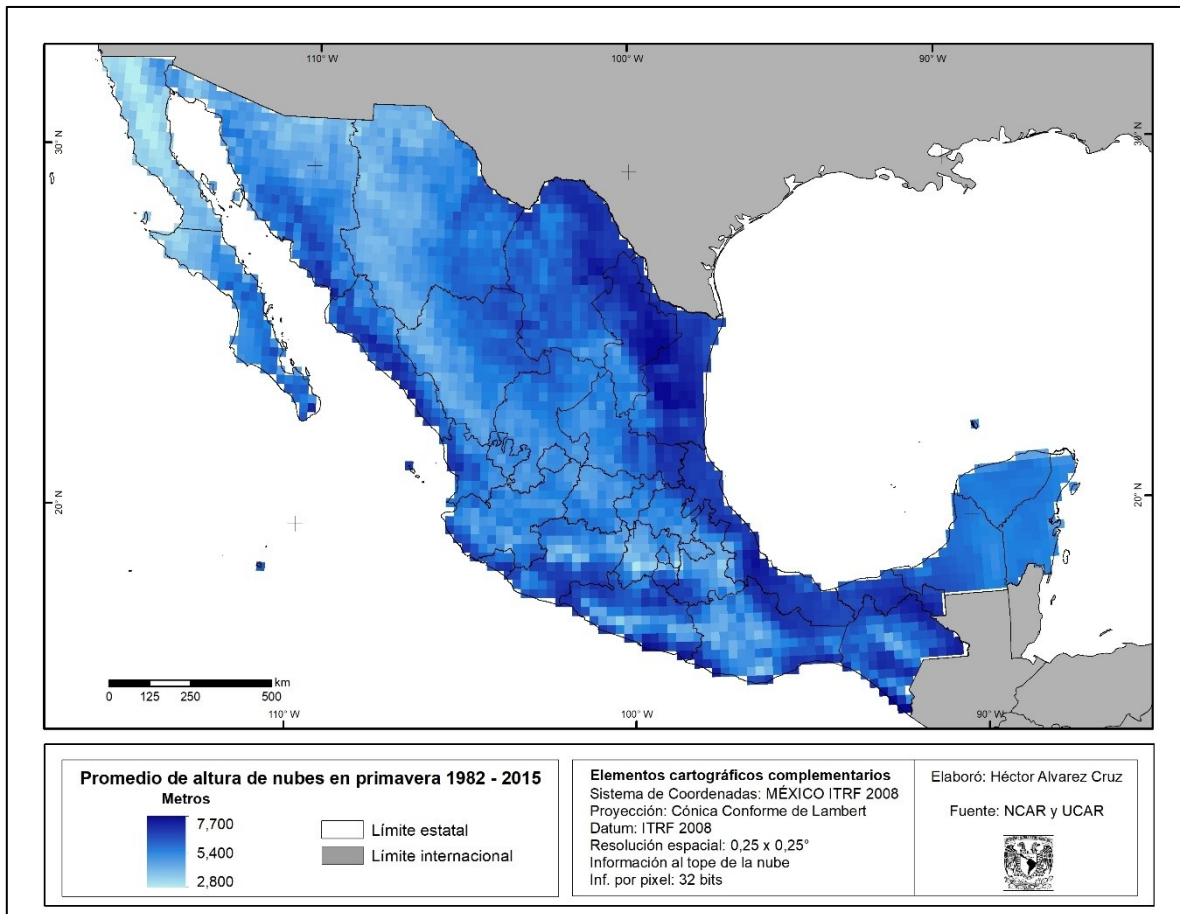


Figura 3.7.- Promedio de altura de nubes en primavera 1982-2015.

Fuente: Elaboración propia: con base en NCAR Y UCAR (2018).

Se observa una estacionalidad en la distribución de las nubes bajas entre la Sierra Madre Occidental y Oriental. La región del Eje Neovolcánico Transversal y en la zona norte de la Península de Baja California presentan las alturas mínimas de nubes.

En verano (junio, julio, agosto) (Figura 3.8) se presenta una distribución similar a la época de primavera, las grandes regiones de la Sierra Madre Occidental y Oriental marcan un patrón muy definido de la altura de las nubes. En las regiones del sur del país se observan los valores máximos, al igual que las Llanuras Costeras del Golfo de México y Pacífico. Las regiones norte y centro del país se presentan la altura mínima de nubes. Durante el verano, las nubes de desarrollo vertical pueden corresponder a *cumulonimbus* cuyas alturas pueden estar cercanas a los 12 km.

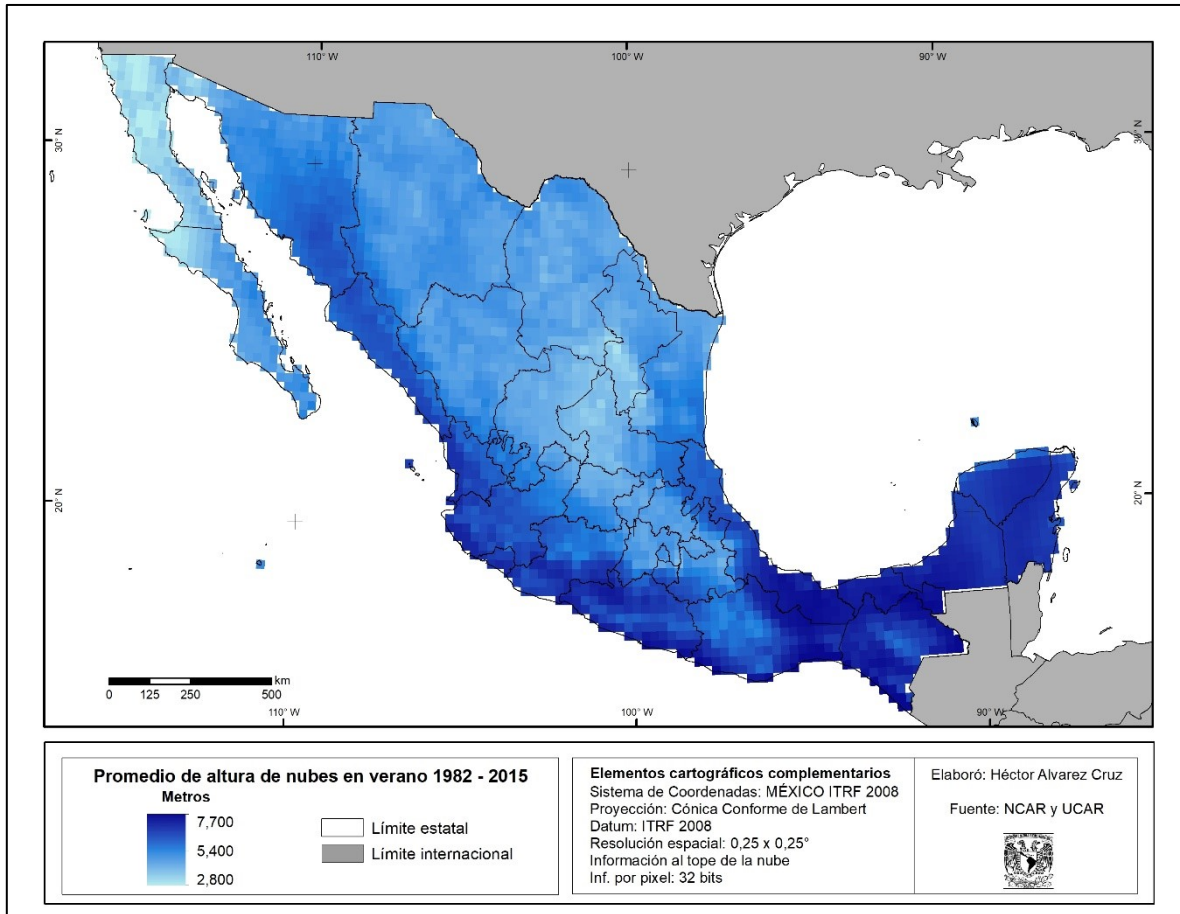


Figura 3.8.- Promedio de altura de nubes en verano 1982-2015.

Fuente: Elaboración propia: con base en NCAR Y UCAR (2018).

En la estación de otoño (septiembre, octubre, noviembre) (Figura 3.9) se observa una división norte-sur muy marcada en el país; en la parte norte la altura de nubes es menor, mientras que en el sur la altura es mayor. Se observa que esta estacionalidad tiene una distribución similar a la estación anterior; las regiones de la Sierra Madre Occidental y Oriental delimitan la distribución. La región norte y centro presentan las alturas mínimas, además de la Península de Baja California. Las Llanuras Costera del Golfo de México y Pacífico aún presentan valores medios y altos.

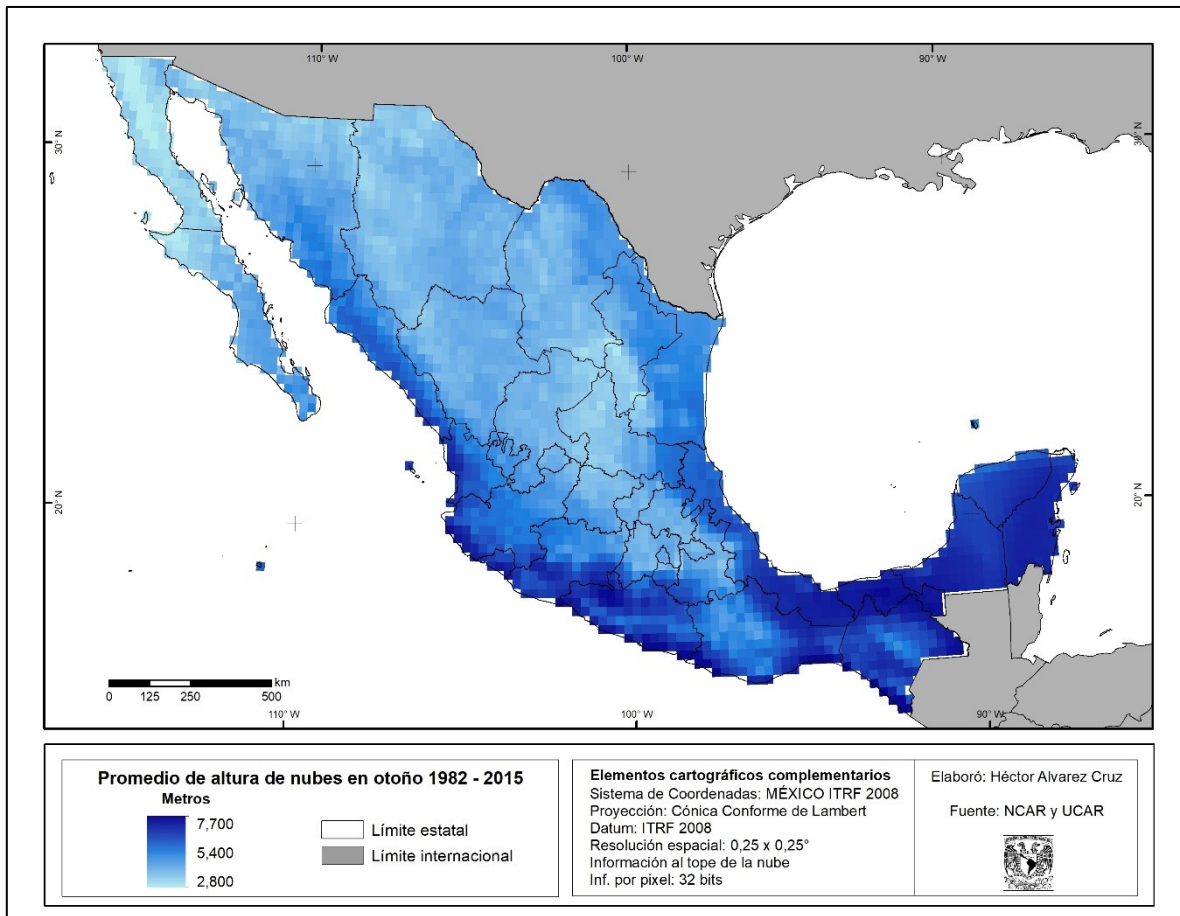


Figura 3.9.- Promedio de altura de nubes en otoño 1982-2015.

Fuente: Elaboración propia: con base en NCAR Y UCAR (2018).

En invierno (diciembre, enero, febrero) (Figura 3.10) la distribución de altura de nubes presenta modificaciones. Respecto a la estación anterior, las alturas mayores de nube se observan en el norte del país, mientras que en el sur se presentan los valores mínimos de altura. A pesar de las modificaciones de distribución en este mes, las regiones de la Sierra Madre Occidental y Oriental delimitan el patrón de distribución espacial. La parte centro del Eje Neovolcánico Transversal y la Sierra Madre del Sur tiene los valores mínimos. Ambas penínsulas tienen una dinámica contrastante, mientras que la Península de Baja California tienen valores medios y altos, la Península de Yucatán se observan valores mínimos.

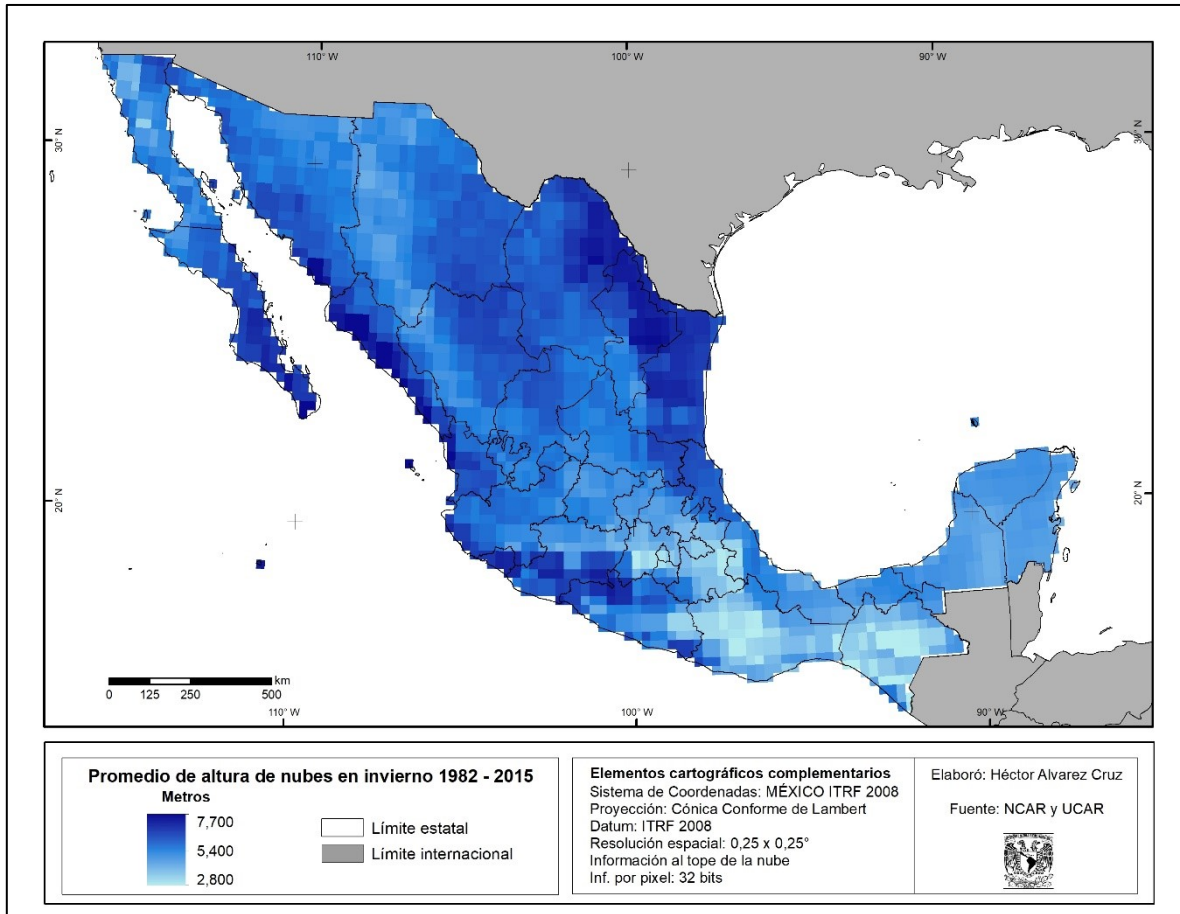


Figura 3.10.- Promedio de altura de nubes en invierno 1982-2015.

Fuente: Elaboración propia: con base en NCAR Y UCAR (2018).

En el promedio estacional de altura de nubes (Figura 3.11) se observa un patrón bien definido, donde las regiones de la Sierra Madre Occidental y Oriental además del Eje Neovolcánico Transversal delimitan esta distribución. Las Llanuras Costeras del Golfo de México y Pacífico presentan los valores máximos. Las regiones del norte y centro presentan valores medios y altos; mientras que el sur del país presenta valores mínimos, principalmente la Sierra madre del Sur. La Península de Baja California y la Península de Yucatán tiene valores contrastantes, en la primera existe la presencia de valores mínimos y medios de altura mientras que en la segunda presenta valores altos de altura de nubes

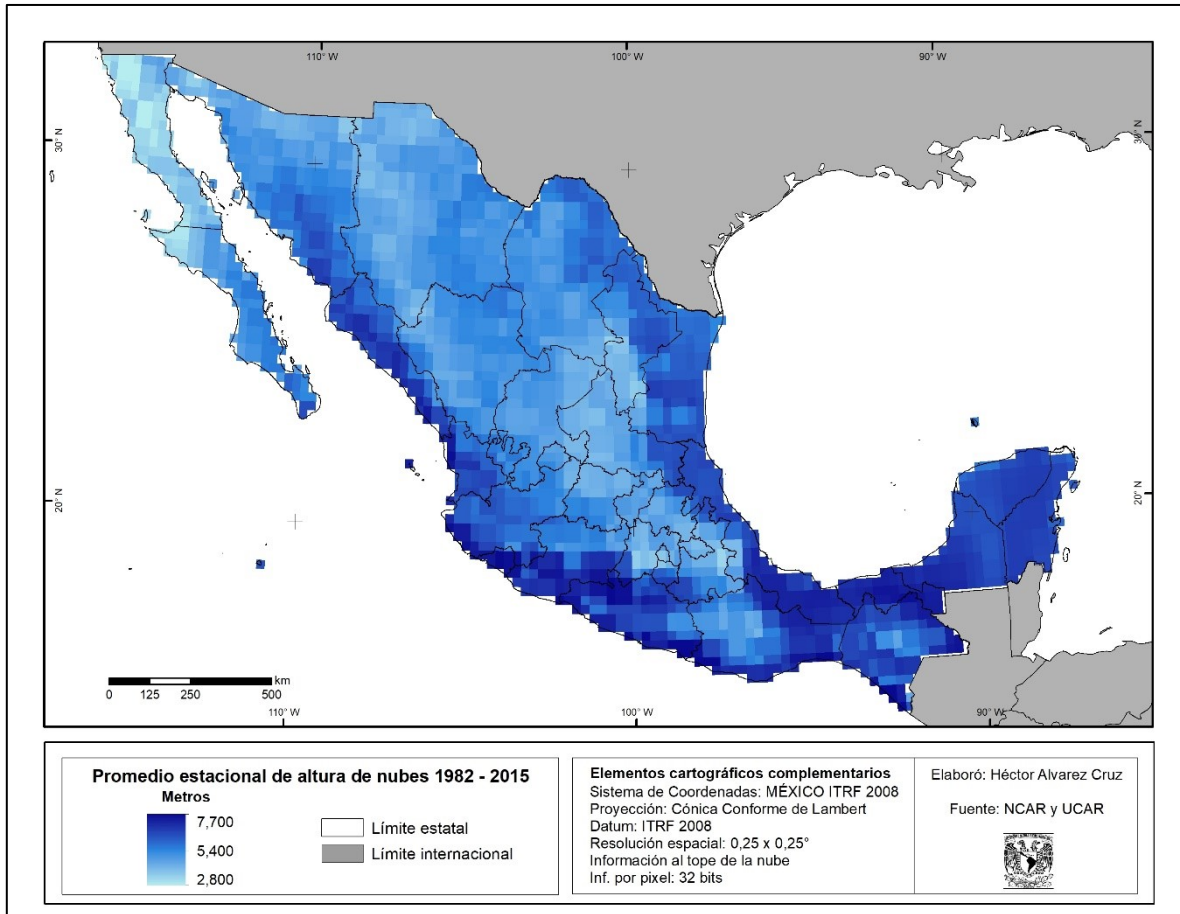


Figura 3.11.- Promedio estacional de altura de nubes 1982-2015.

Fuente: Elaboración propia: con base en NCAR Y UCAR (2018).

La distribución de altura de nubes en el país está influenciada principalmente por efectos topográficos, se observa que las grandes regiones fisiográficas como la Sierra Madre Occidental y Oriental, además del Eje Neovolcánico determinan la presencia de nubes bajas o altas. Las nubes, con todos sus componentes, representan una de las características más dinámicas en el entorno atmosférico, y su estudio es primordial para el análisis de diversos factores como la radiación solar.

A través del análisis espacial y temporal de cobertura nubosa y altura de nubes se pudo observar diferentes comportamientos de la nubosidad en el país; se resaltaron zonas con mayor y menor cobertura. Lo valioso de las nubes radica en las interacciones físicas y químicas que se dan entre la Tierra y la atmósfera, en general, las nubes afectan

significativamente el impacto de energía al reflejar la radiación de onda corta y al absorber y emitir radiación de onda larga (Hobbs y Deepak, 1981).

3.4 Tendencias de casos de melanoma a escala nacional

Se calculó el número total de casos de mortalidad por melanoma por año, con el objetivo de tener una primera aproximación de la existencia del aumento progresivo de casos registrados en la serie de tiempo de 1980 a 2015 (Figura 3.12). El incremento de casos de mortalidad por melanoma en México se ha presentado de manera notable, principalmente con crecimientos considerables en tres lapsos de tiempo; los primeros se observan en los años de 1987 a 1995, y 1997 a 2005, en estos períodos se observó un aumento de 112 y 104 casos respectivamente. El último lapso se expresa en los años de 2009 a 2015 con un aumento de 200 casos nuevos durante estos años.

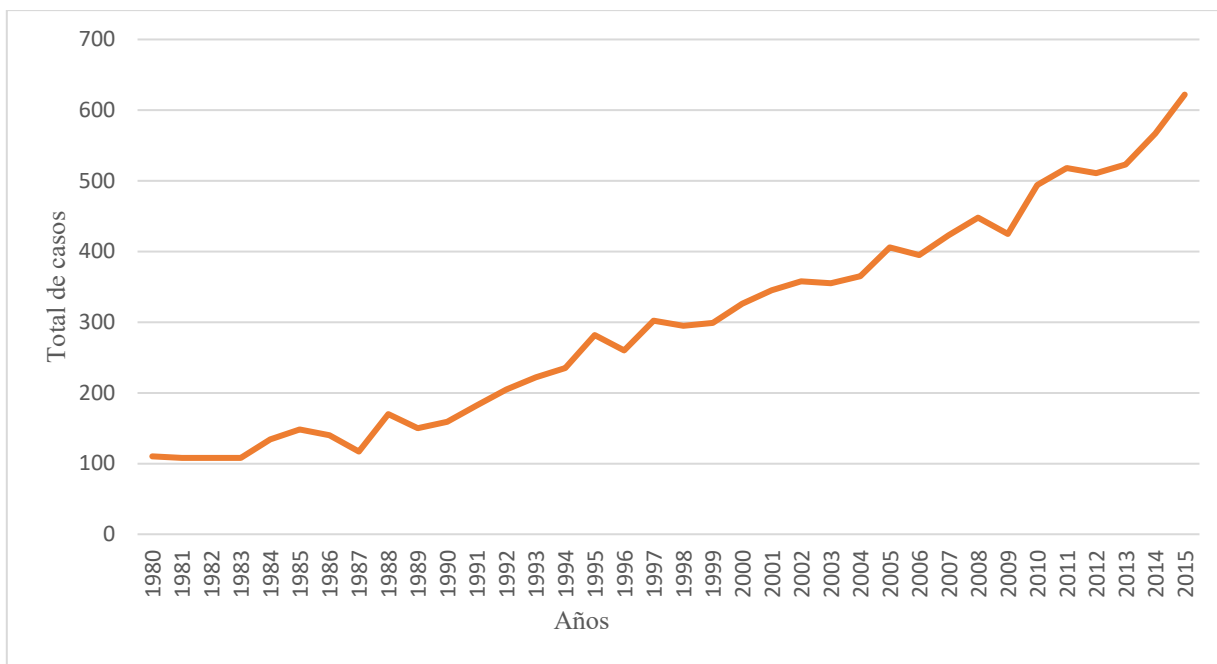


Figura 3.12.- México: total de casos de mortalidad por melanoma, 1980 a 2015.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

Es importante señalar y recordar que en nuestro país no existe un registro adecuado en cuanto la morbilidad y mortalidad por cáncer de piel, la ausencia de su notificación y diversos subregistros tanto institucionales como publicaciones académicas hacen que las

cifras tengan una disparidad considerable; sin embargo, estos datos nos proporcionan un panorama general de la frecuencia temporal en la que se presenta la mortalidad por dicha enfermedad.

El grupo de edad más afectado en nuestro país, según Alfaro-Sánchez *et al.*, (2016), Lino-Silva *et al.*, (2016) y Martínez-Saíd *et al.*, (2004) es el de personas de 50 a 57 años, debido a diversos motivos como el envejecimiento de la piel, la exposición acumulada a los rayos solares ultravioleta y la deficiencia del sistema inmunológico. Por otra parte, Cabrera y López-Nevot (2006) y Alfeirán *et al.*, (1998) refieren que existe un incremento a nivel mundial de casos en grupos de edad de los 18 a 30 años, sobre todo por la presente cultura del bronceado, el poco cuidado de la piel ante la exposición solar y la falta de información sobre el daño que puede ocasionar la radiación ultravioleta en la salud humana.

En México el cáncer de piel ocupa el sexto lugar de frecuencia, en el que se detectan casos con fuertes repercusiones desde los 18 años (Federación Mexicana para la Dermatología, 2014). Se calcularon el número de casos por sexo y grupos de edad para encontrar la mayor incidencia en estas variables de mortalidad en nuestro país (Figura 3.13).

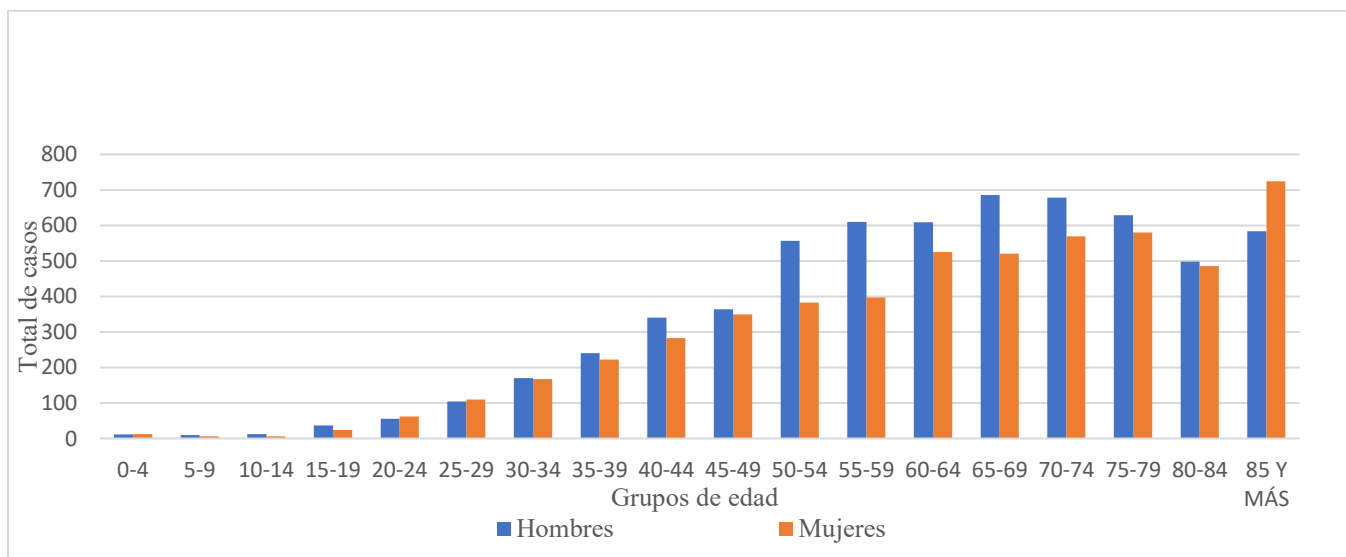


Figura 3.13.- México: total de casos de mortalidad por melanoma por sexo y grupos de edad.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

El número de casos aumentan con la edad para ambos sexos, pero los valores más altos se registran en los grupos de edad que van de los 50 a 79 años, como lo mencionan Alfaro-Sánchez *et al.*, (2016), Lino-Silva *et al.*, (2016) y Martínez-Saíd *et al.*, (2004); con un rango de número de casos que va de los 550 a 630 en hombres y 380 a 580 en mujeres. Respecto a los valores en los grupos de edad de 20 a 49 años mantienen un incremento constante sin fluctuaciones importantes. En cuanto al número de casos por sexo es apreciable que la frecuencia se presenta de manera más importante en los hombres, situación también publicada en la literatura, el predominio en hombres es posible que se relacione con el hecho de que los hombres tienden a consultar al médico tardíamente, incluso en etapas avanzadas de varias enfermedades como cáncer y diabetes (Lino-Silva *et al.*, 2016); sin embargo, en el grupo de edad de los 25-29 años y 85 y más la frecuencia es inversa, es decir, se presenta mayor en las mujeres. A pesar de esto, todos los grupos de edades se ven afectados.

Anteriormente se mencionó el número total de mortalidad por año, pero fue necesario calcular la tasa bruta de mortalidad de melanoma para encontrar la verdadera existencia de un incremento de casos, es importante resaltar que la creación de esta tasa bruta tuvo el objetivo de hacer homogéneos los valores a nivel nacional, sin tener los saltos obvios de la densidad de población en ciertos estados del país. Asimismo, se comparó en la misma gráfica los datos de población quinquenal de los conteos y censos poblacionales oficiales para obtener valores significativos (Figura 3.14).

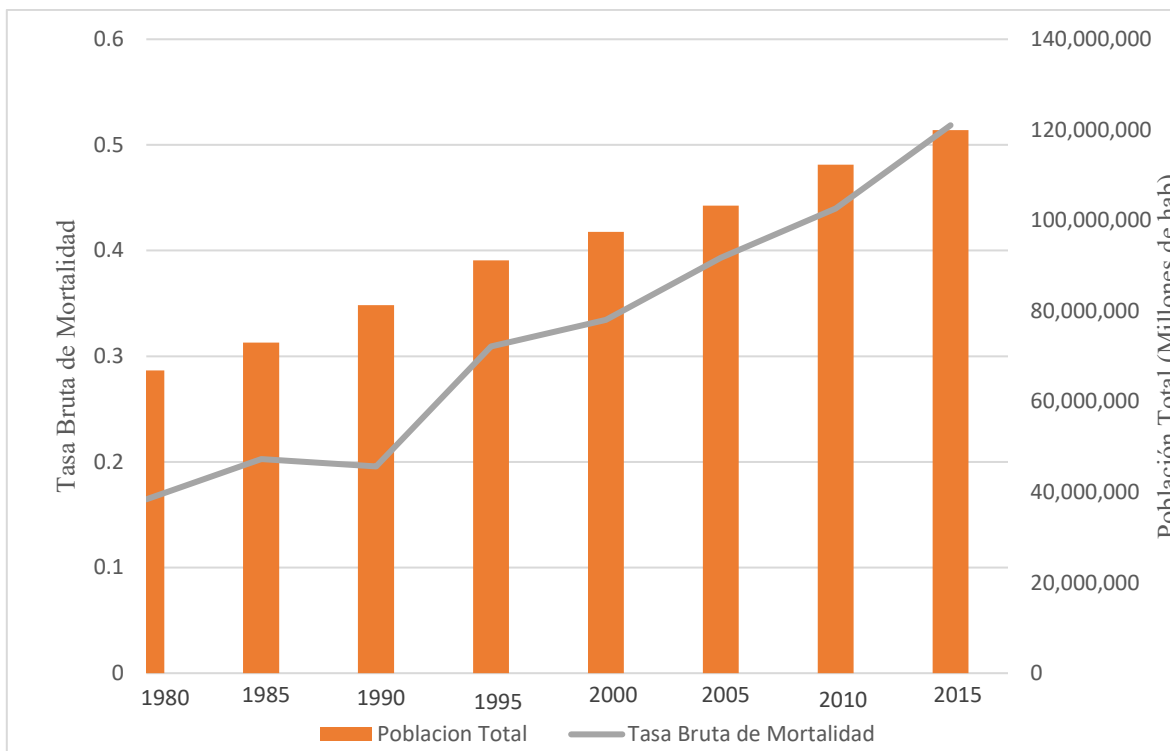


Figura 3.14.- México: tasa nacional quinquenal de mortalidad por melanoma de acuerdo con la población total 1980 a 2015.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

El número de casos de acuerdo con la población total quinquenal expresa que efectivamente existe un incremento de casos de mortalidad por melanoma para nuestro país; durante el período de 1980 0.16 personas por cada 100,000 habitantes tenían la probabilidad de mortalidad por melanoma, de 1990 a 1995 0.20 personas por cada 100, 000 habitantes presentaron esta probabilidad y para los años de 1995 a 2015 la probabilidad de mortalidad presento un desarrollo importante, pues se incrementó más del doble, ya que en 2015 0.52 personas presentaron la probabilidad de mortalidad por melanoma.

Las características físico-geográficas del país favorecen el impacto con mayor intensidad de los rayos ultravioleta, ya que este tiene características heterogéneas en su relieve y una posición intertropical. Según los datos de “*La guía del índice solar mundial*” publicada por la Organización Mundial de la Salud (2014), por cada mil metros de incremento de la altitud, la intensidad de la radiación UV aumenta en un 10 por ciento hasta

12 por ciento. Recordemos que Barry y Chorley (1999), Méndez-Pérez y Gómez-Azpeitia (2015), junto con Mediavilla (2004) mencionan que mientras más cerca de los trópicos se ubique una localidad, los rayos solares inciden casi verticalmente y por lo tanto mayor radiación recibe cada metro cuadrado de superficie.

La asociación entre valores de UV y altitud se ha investigado en los últimos años; porque teóricamente la radiación UV aumenta con la altitud, principalmente porque a mayores alturas, la radiación UV viaja a una distancia más corta a través de la atmósfera y por lo tanto existe una menor probabilidad de absorber y dispersar la energía. De esta manera en esta investigación se calculó la altitud de cada tasa de mortalidad por melanoma a nivel municipal para determinar su la relación entre presencia de mortalidad y altura sobre el nivel del mar (Figura 3.15).

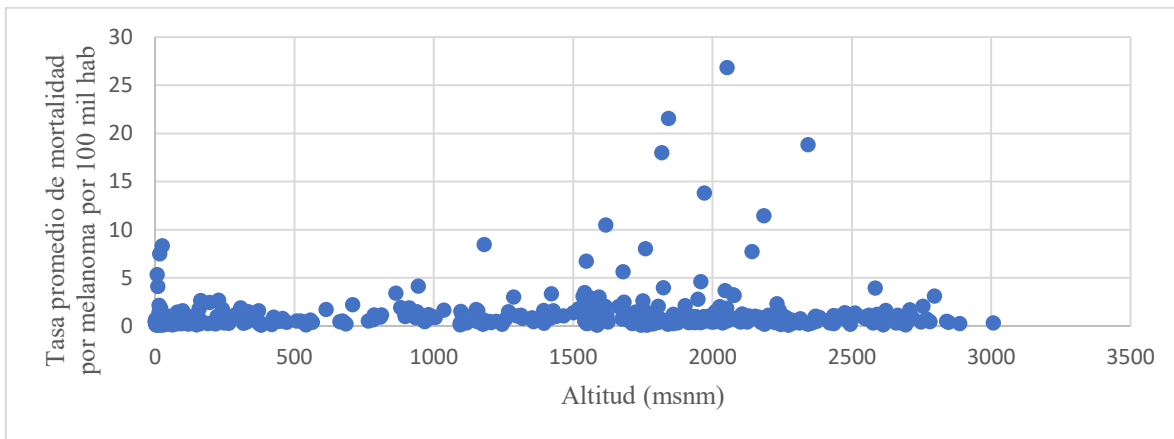


Figura 3.15.- México: relación de tasa de mortalidad por melanoma y altitud.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

Los resultados indican que la principal concentración de casos tasados se encuentra en el rango de altitud de 1,500 a 2,500 msnm. Esto se puede explicar por dos cuestiones: a) en esta región se presentan las zonas del país con mayores densidades de población, sin embargo, b) estas regiones se encuentran a una altitud promedio de 2,200 msnm, lo cual implica una distancia corta en el viaje de la radiación UV, y por ende mayor intensidad.

Además, se observa un *cluster* importante que va de los 0 a 500 msnm, lo que podría asociarse a poblaciones costeras con una mayor exposición solar. Sin embargo, a pesar de

estos patrones apreciables, existe presencia de casos de melanomas en todas las altitudes. Esto puede indicar que la altitud es un factor ambiental importante en la amenaza para el melanoma, pero los hábitos de vida de la población pueden también ser relevantes además de las condiciones socioeconómicas.

3.5 Distribución espacial de mortalidad por melanoma a nivel estatal

Las tasas de mortalidad adquieren un significado de proporción u homogeneización de los datos, en este sentido, la siguiente serie de mapas (Figuras 3.16 a 3.24) muestran la distribución espacial por quinquenio de valores mínimos y máximos de la mortalidad por melanoma en México a nivel estatal, basados en el cálculo de tasas construidas con la base de mortalidad por melanoma de los años de 1980 a 2015 (SINAIS, DGRCVIL, Acuña, 2018). La tasa de mortalidad refiere a la frecuencia de decesos en una población durante un determinado tiempo y lugar, (INEGI, 2000). De esta manera se dan, aproximaciones generales de la dinámica espacial de la tasa de mortalidad a nivel país, al observar ciertos patrones y tendencias.

En la figura 3.16 se observa que en el año de 1980 los valores más altos se registraron, principalmente en los estados de Nayarit y Baja California. En este año, se evidenció una distribución en las regiones centro y occidente, el cual se presenta de este a oeste al abarcar los estados de Veracruz, Hidalgo, Querétaro, Guanajuato y Jalisco, además de la Ciudad de México y Morelos que indican una tasa alta de mortalidad.

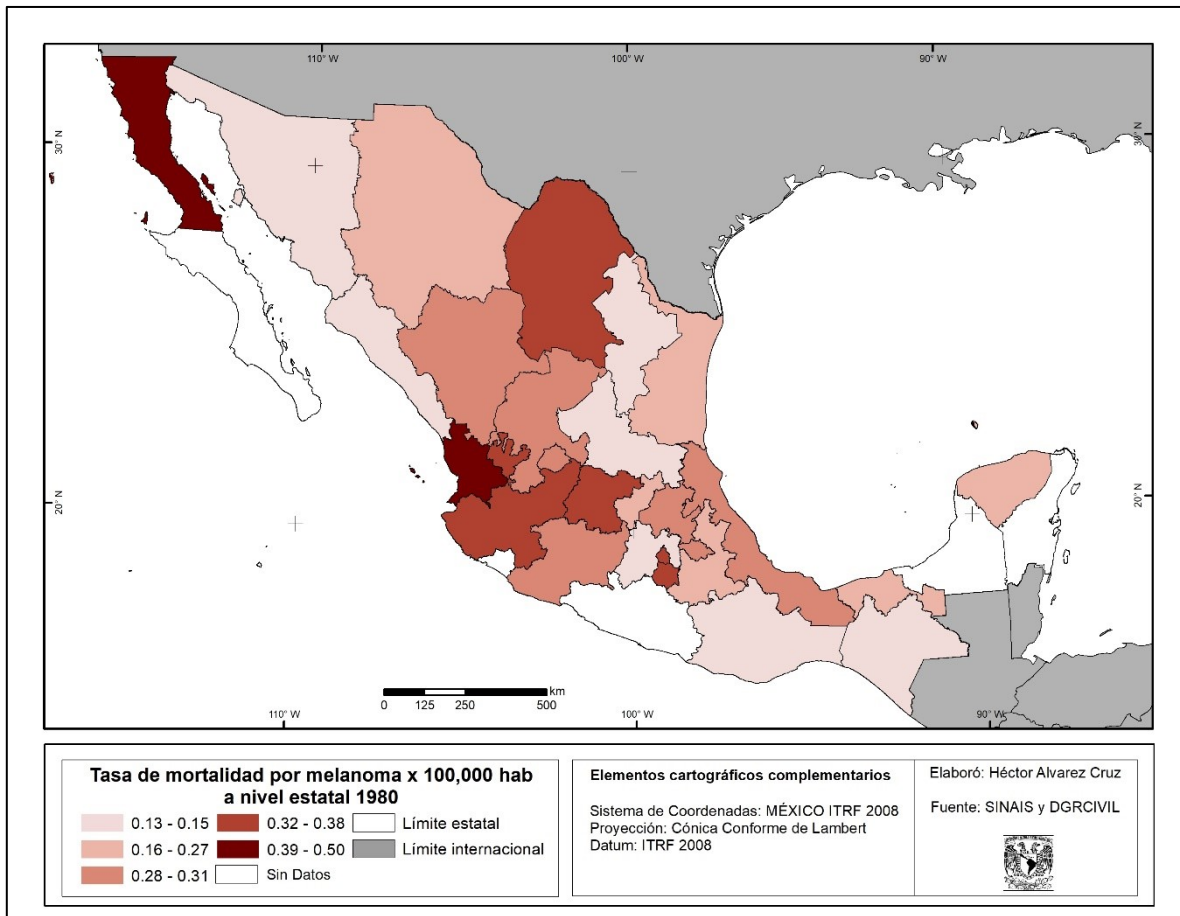


Figura 3.16.- México: tasa estatal de mortalidad por melanoma, 1980.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

Por otro lado, los estados con valores bajos presentan una distribución sin patrón definido. Es importante señalar que en ese año cinco estados (Baja California Sur, Colima, Guerrero, Campeche y Quintana Roo) no presentaron registros de mortalidad.

Para el año de 1985 (Figura 3.17) los valores máximos se presentaron en el estado de Colima Nayarit, igual que en el quinquenio anterior.

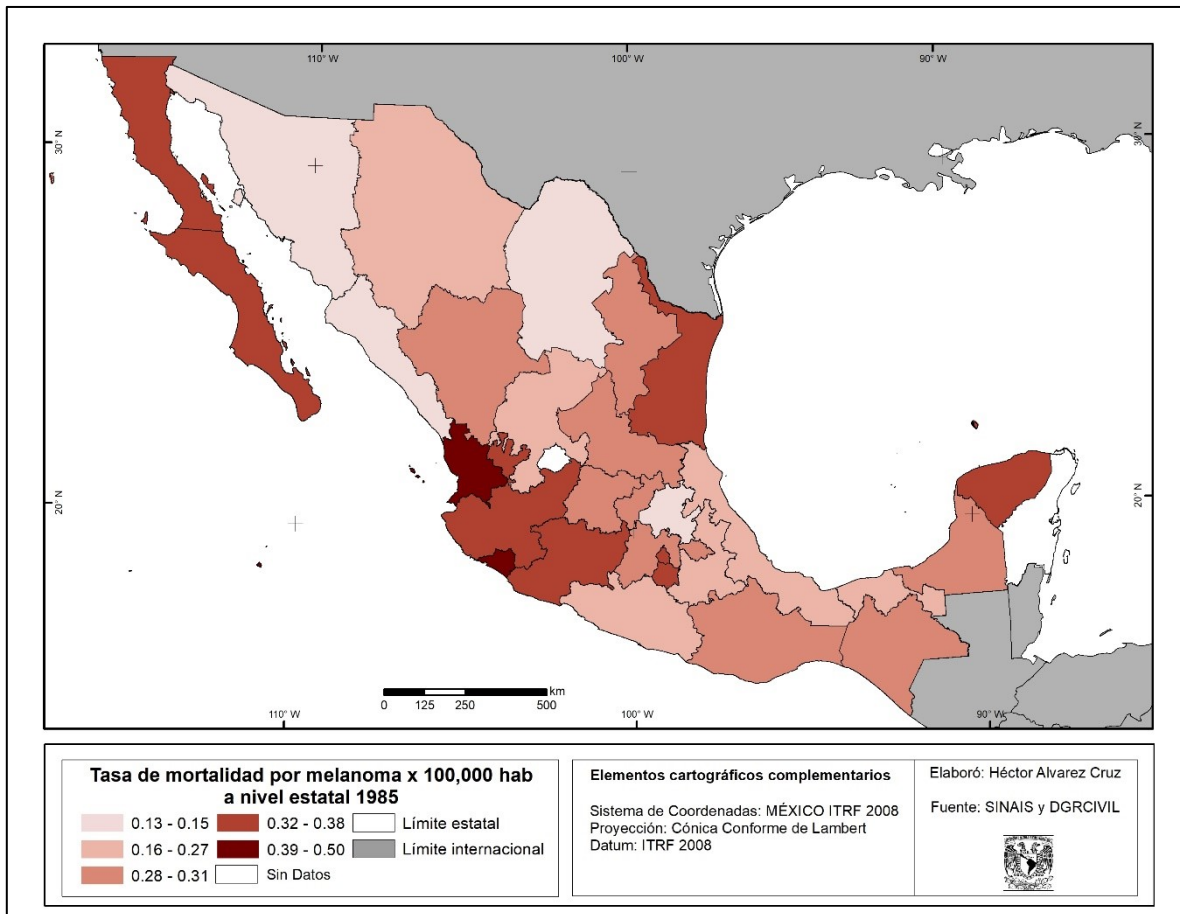


Figura 3.17.- México: tasa estatal de mortalidad por melanoma, 1985.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

El fenómeno de mortalidad por melanoma en este año presentó modificaciones en su presencia, ya que mostró valores altos en el norte y occidente del país, en los estados de Tamaulipas, Nuevo León, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, Jalisco y Michoacán; así como en la Península de Baja California. Algo relevante que expresa este año, es que en la parte sur ya se registraron datos con valores bajos. En esta ocasión sólo dos estados (Aguascalientes y Quintana Roo) no presentaron datos.

En el año de 1990 (Figura 3.18) la distribución de casos de decesos por esta enfermedad se expresó con tres patrones de valores altos.

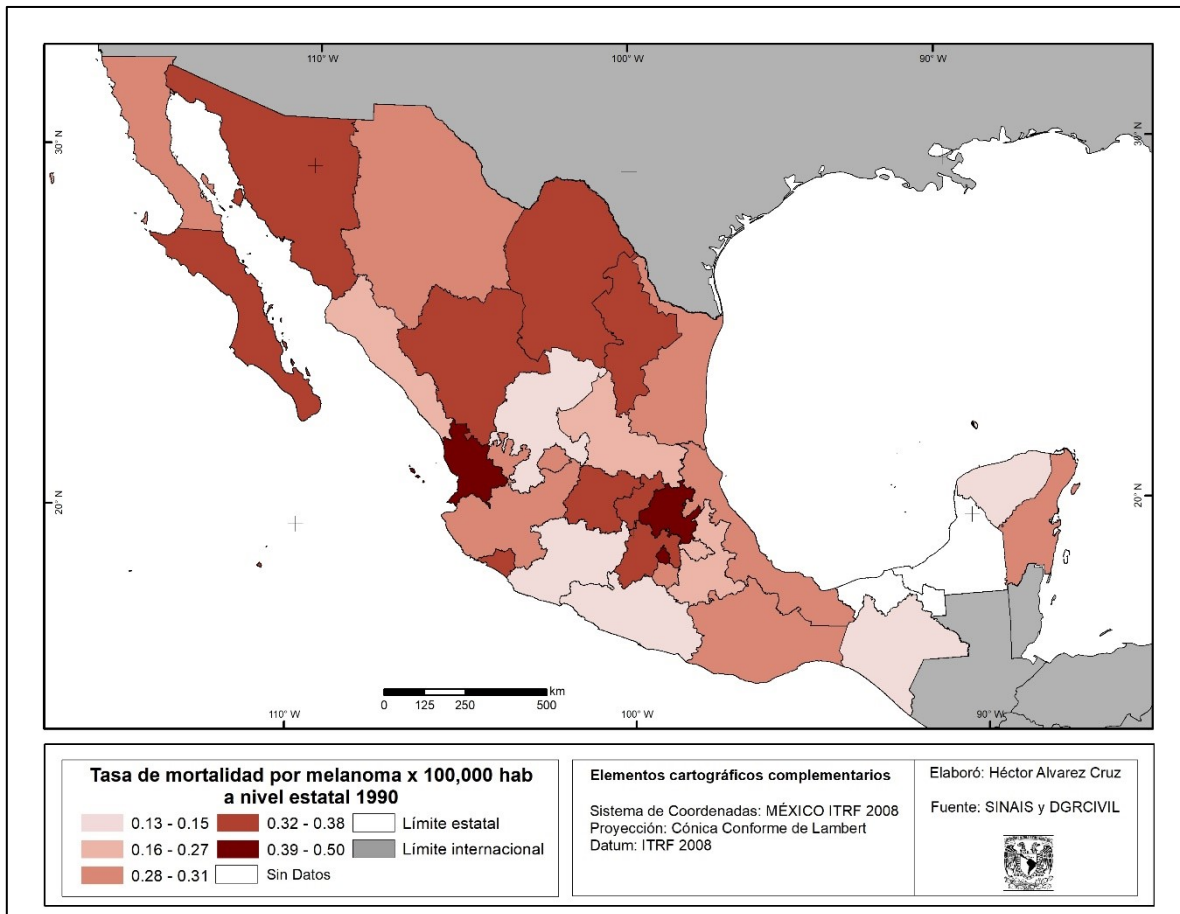


Figura 3.18.- México: tasa estatal de mortalidad por melanoma, 1990.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

En este caso, los valores máximos, de nuevo, se concentraron en la región centro y occidente, en los estados de Hidalgo, Estado de México, Querétaro, Guanajuato y la Ciudad de México y en los estados fronterizos norte; principalmente en Nuevo León, Coahuila y Sonora, además de Durango; sin embargo, es importante mencionar que, de nuevo, el estado de Nayarit presentó los valores máximos como en los dos quinquenios anteriores. También es importante señalar que en la parte sur se presentan los valores mínimos, además para este año, de nuevo, dos estados (Tabasco y Campeche) no presentaron datos.

La dinámica de mortalidad por melanoma para 1995 (Figura 3.19) mostró con valores máximos a sólo un estado, en este caso fue Baja California; sin embargo, a pesar de que sólo un estado obtuvo el máximo, este fue el más alto comparado con los años anteriores. La

presencia del corredor norte – occidente, de nuevo se presentó en este año, con valores altos en Tamaulipas, Nuevo León, Zacatecas y Jalisco.

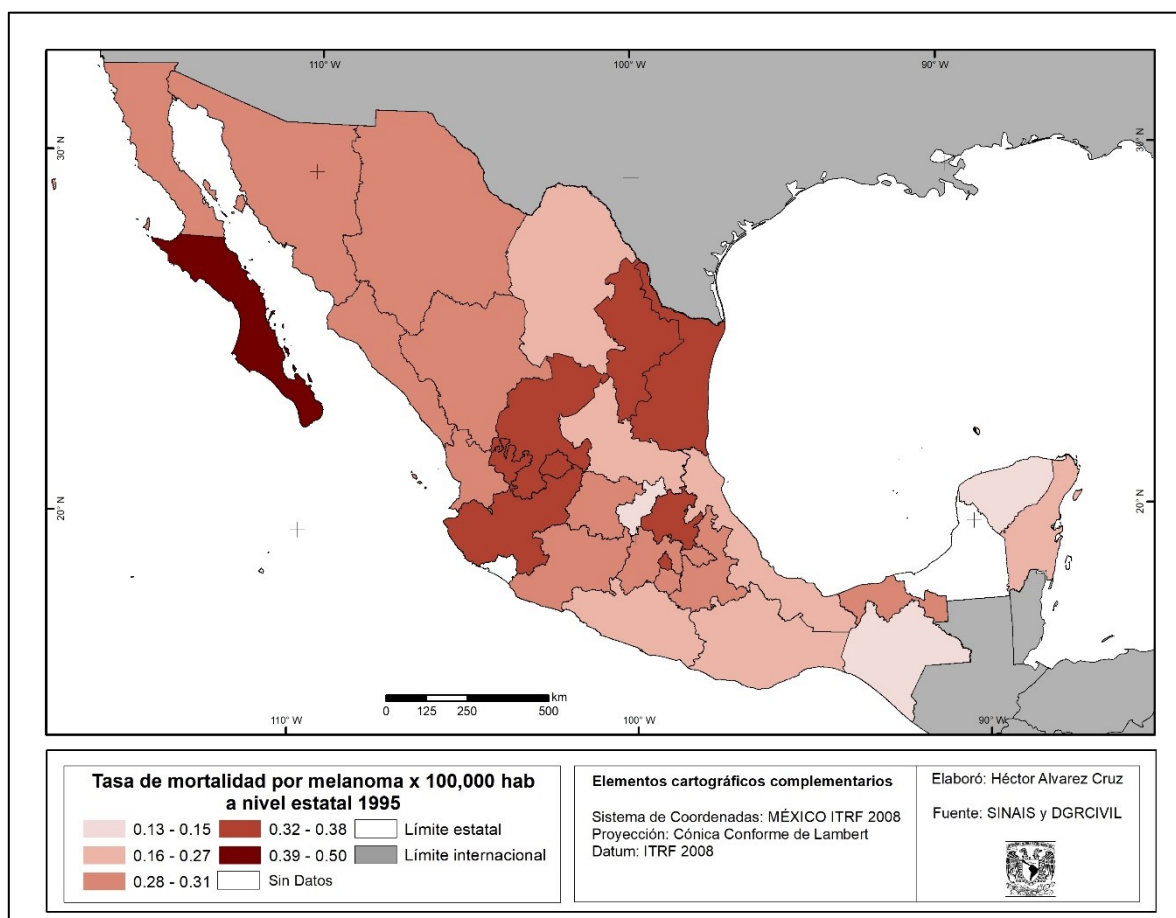


Figura 3.19.- México: tasa estatal de mortalidad por melanoma, 1995.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

Para la región centro, la mayor tasa de mortalidad se presentó en la Ciudad de México e Hidalgo. Por otro lado, los valores más bajos se observan en la Península de Yucatán, la cual tiene una presencia peculiar con respecto a los otros estados. Campeche no presento datos, al igual que Colima algo que es de consideración puesto que en los quinquenios anteriores si presentó registros con valores muy altos.

El quinquenio del año 2000 (Figura 3.20) reflejó múltiples estados con valores máximos. En el norte Coahuila, en la región occidente de nuevo tuvieron presencia muy alta

Nayarit y Jalisco, en la región centro la Ciudad de México y Morelos alcanzaron una tasa muy alta, al igual que Yucatán. Lo cual es de llamar la atención ya que en quinquenios anteriores no tenía presencia con valores máximos; de la misma manera, resalta que Nuevo León tenga valores bajos en este quinquenio contrario a los datos expresados anteriormente.

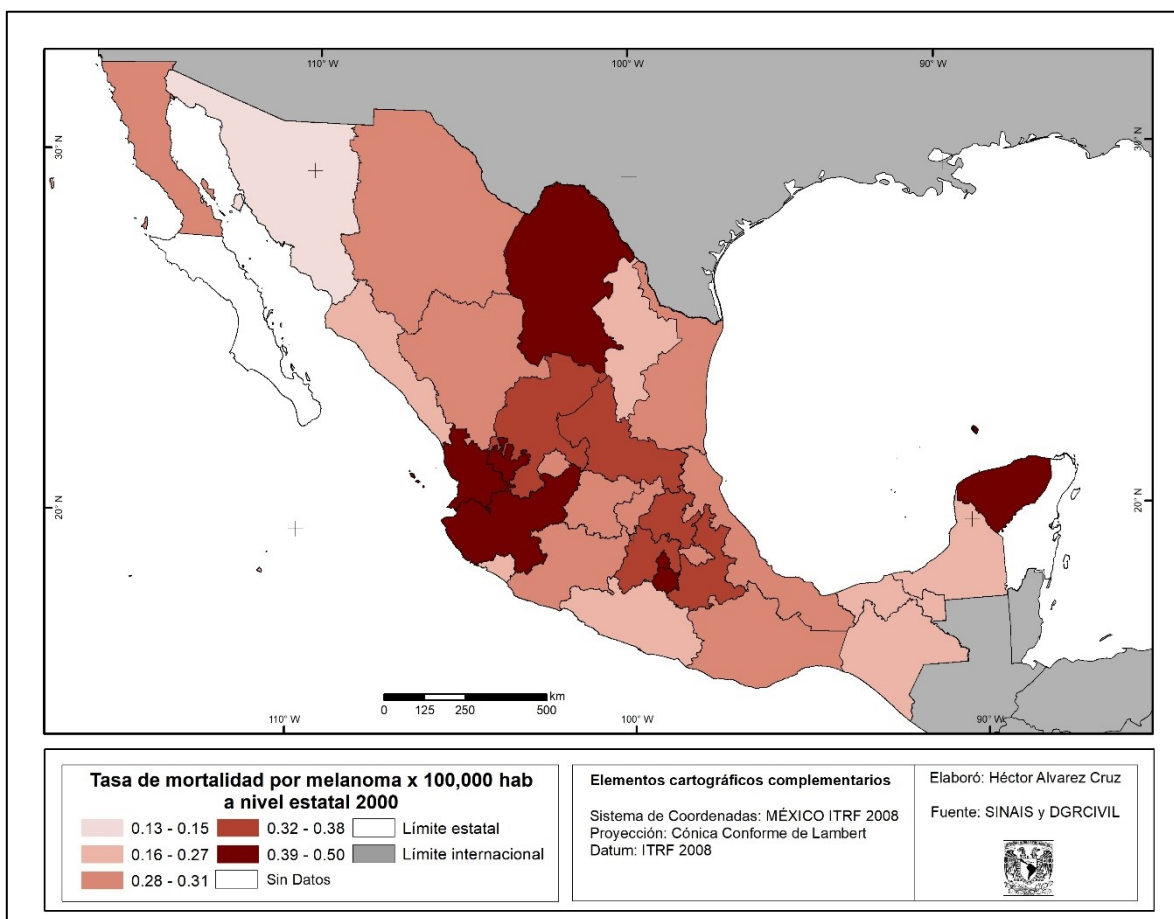


Figura 3.20.- México: tasa estatal de mortalidad por melanoma, 2000.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

De la misma manera, se presentó un patrón en la altiplanicie de nuestro país con indicadores altos en los estados de norte-centro, específicamente Zacatecas, y San Luis Potosí. Los estados del sur presentaron valores mínimos. Baja California Sur y Quintana Roo no presentaron datos.

En el año 2005 (Figura 3.21) la distribución de mortalidad por melanoma se evidenció con patrones presentados en los primeros años analizados. Nuevamente, los valores máximos se concentran en el occidente del país, concretamente en Nayarit, Jalisco y Guanajuato, al igual en Baja California Sur.

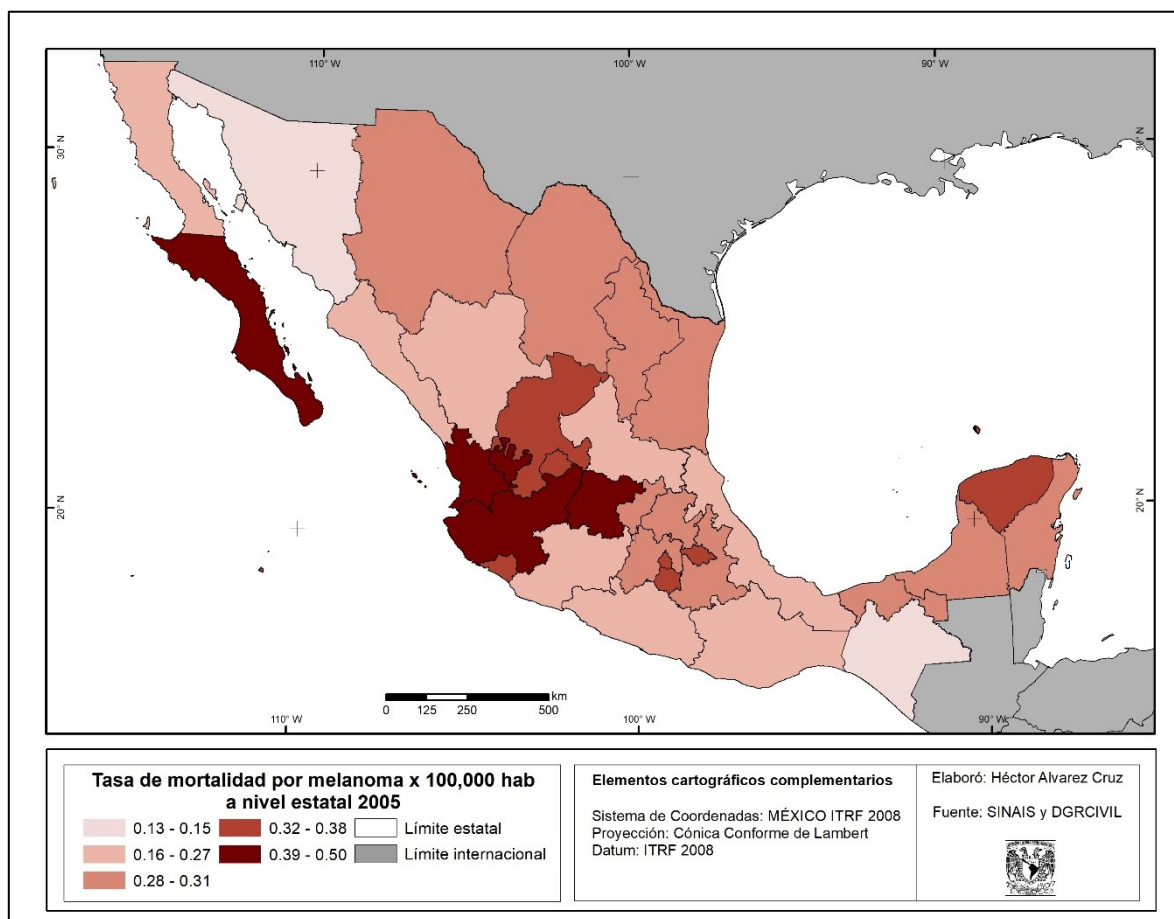


Figura 3.21.- México: tasa estatal de mortalidad por melanoma, 2005.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

Los Estados fronterizos norte (Nuevo León, Coahuila, Chihuahua), el centro (Ciudad de México, Puebla y Morelos) y la Península de Yucatán manifestaron valores altos y medios. Los estados costeros tanto del Golfo de México como del Océano Pacífico mostraron valores bajos, y en este año por primera vez, todos los estados del país registraron datos de mortalidad por melanoma.

La distribución de la mortalidad por melanoma en el año 2010 (Figura 3.22) tuvo valores máximos en sólo tres estados, Guanajuato, Ciudad de México y Morelos, es importante recalcar que estos estados han estado presentes con valores máximos en casi todos los años anteriores. La región occidente y norte presentó una disminución significativa en valores máximos, sin embargo, aún resalta esta parte del país.

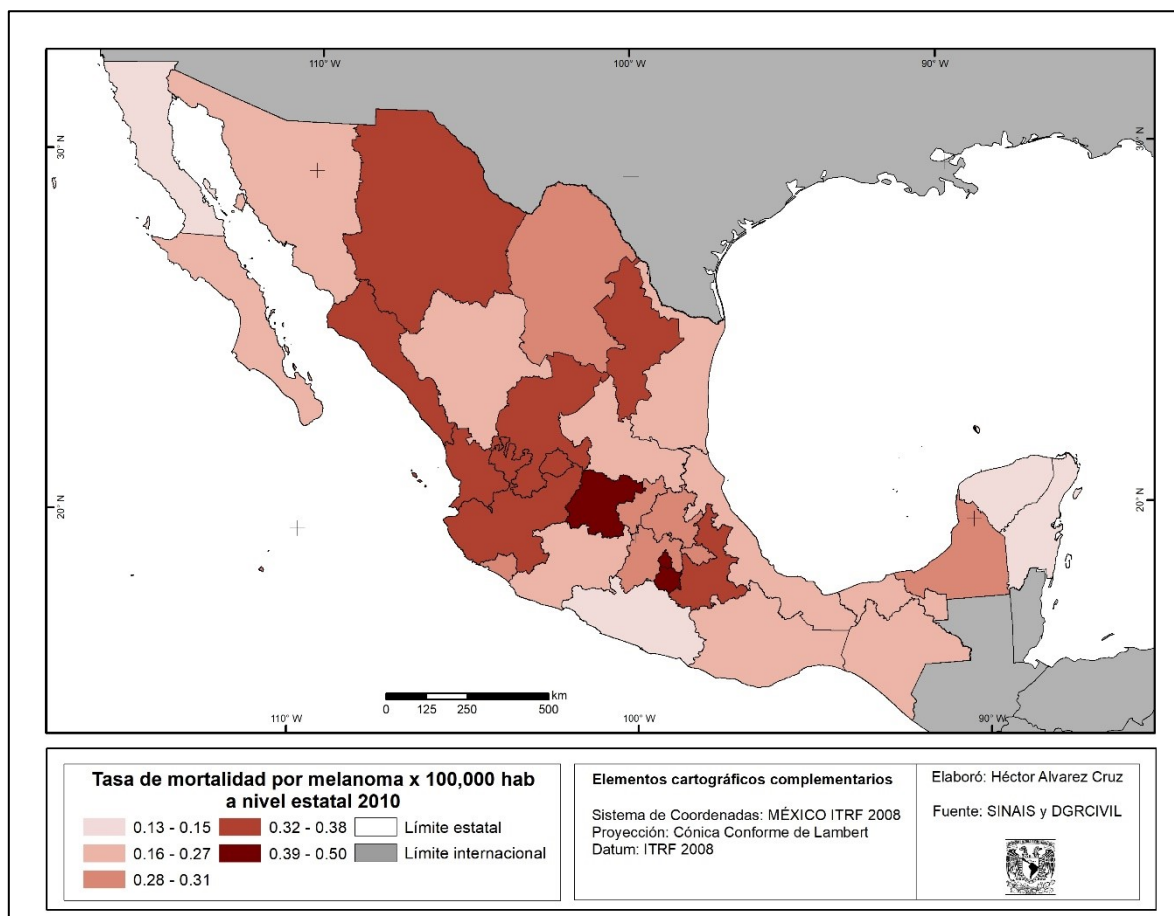


Figura 3.22.- México: tasa estatal de mortalidad por melanoma, 2010.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

La Península de Yucatán, tiene un comportamiento singular, en este quinquenio mostró datos inferiores al quinquenio pasado, para los estados costeros existió un aumento en sus valores, ya que presenta datos medios. Para este quinquenio también todos los estados registraron datos.

La espacialidad de este fenómeno de salud en el último quinquenio de análisis (Figura 3.23) presenta sólo un estado con máximos, en esta ocasión fue Puebla. A pesar de ello, fue el segundo máximo más alto de todo el período, tal como en el año 1995. De nuevo los estados del occidente del país se expresaron con altos valores de mortalidad por melanoma, al igual que la región centro.

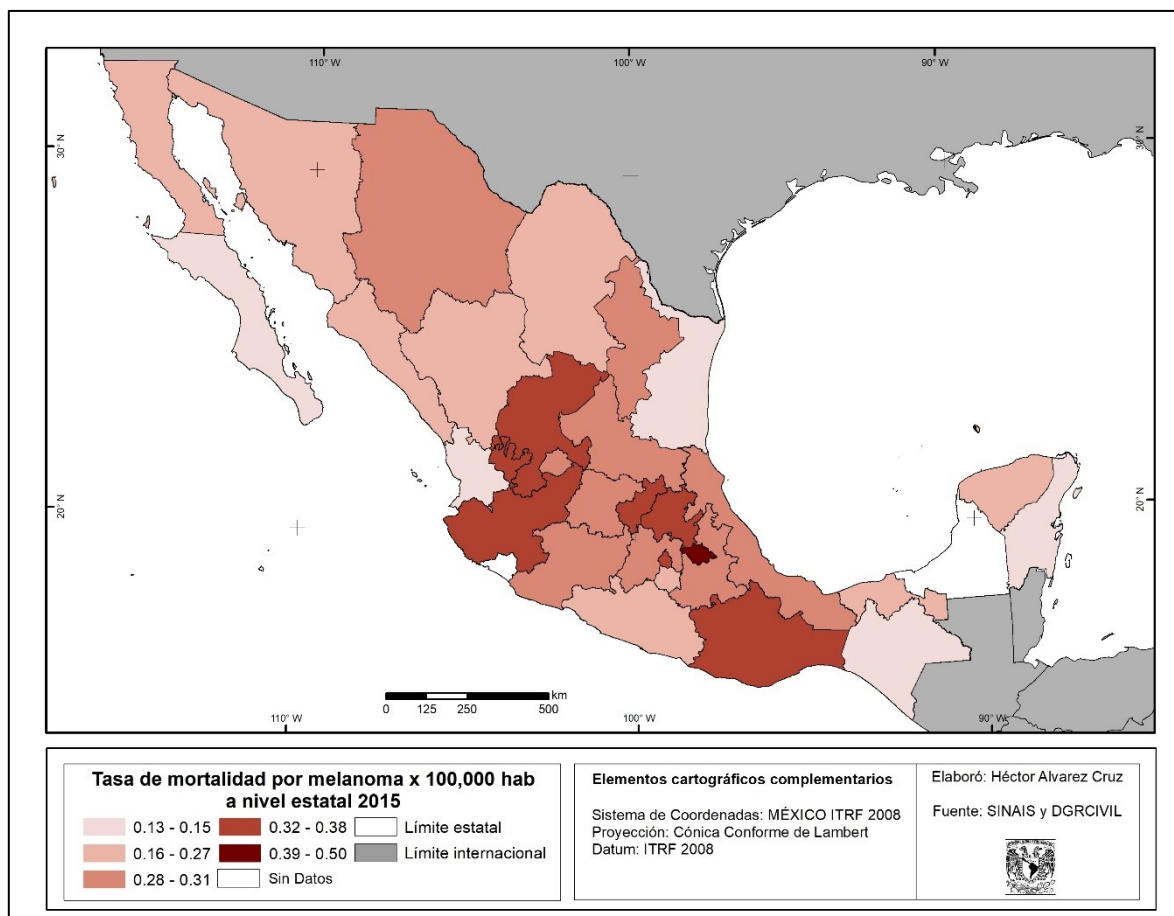


Figura 3.23.- México: tasa estatal de mortalidad por melanoma, 2015.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

Los estados fronterizos norte, en este año mostraron una disminución relativa, ya que la mayor parte de estos obtuvieron valores bajos y medios. Con respecto a la Península de Yucatán, se comportó de manera aislada, con niveles bajos de mortalidad, como en casi todos los años. Colima y Campeche no registraron datos, lo cual es una tendencia en todo el período analizado.

La tasa promedio de mortalidad (Figura 3.24) por melanoma a nivel estatal muestra que la tendencia de distribución se presenta en los estados que comprenden el Eje Neovolcánico Transversal y la Mesa Central, también podemos observar que el país está fragmentado a partir del Eje Neovolcánico, es decir, los estados del norte del país muestran valores medios y altos, mientras que los estados del sur tienen valores bajos.

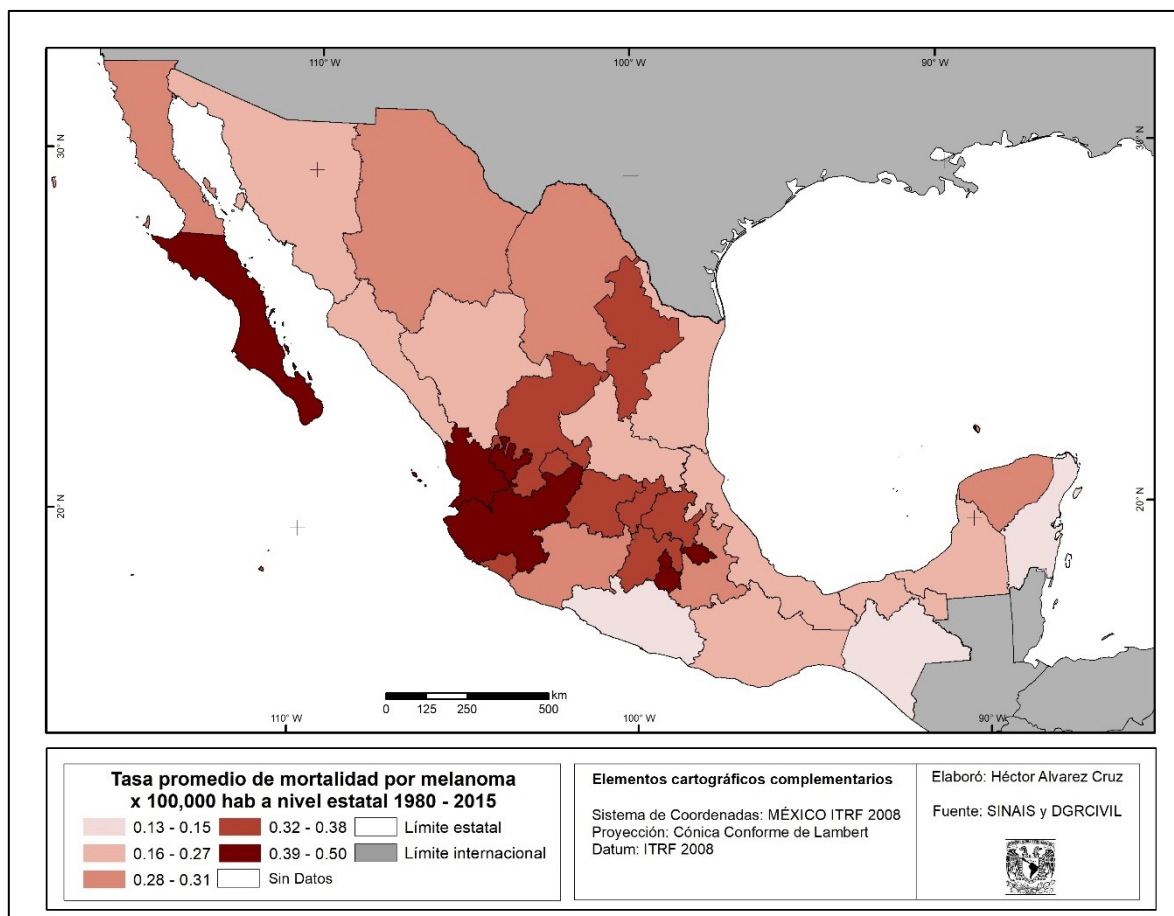


Figura 3.24.- México: tasa promedio de mortalidad por melanoma 1980-2015.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

La tasa de mortalidad por melanoma en el país adquiere valores significativos en el tratamiento de la base de datos y recalca la situación a nivel estado además que está relacionada con las fuentes de información que procedieron de registros administrativos y censos de población.

La importancia de estudiar la mortalidad por melanoma permite identificar su presencia espacial, su grado de impacto en la estructura de la población por edad y sexo y por sus propias causas, que son empleadas frecuentemente como indicadores del estado de salud y condiciones de vida de la población. Los resultados de este estudio presentan un panorama general de los componentes en la dinámica nacional y estatal de la enfermedad, y en la comprensión integral del cambio en la estructura y magnitud de la población afectada.

3.6 Distribución espacial de mortalidad por melanoma a nivel municipal

El cálculo de las tasas de mortalidad también se expresó a nivel municipal, con el fin de observar de manera más concreta áreas municipales que presenten mayor tasa de mortalidad por melanoma, y así identificar si existen *corredores* o *hot spot* con dicha presencia. La siguiente secuencia de mapas (Figuras 3.25 a 3.32) muestra esta distribución espacial en el período de 1980 a 2015.

En México, la tasa de mortalidad por melanoma en el año de 1980 (Figura 3.25) expresa, principalmente, valores bajos y medios en la mayor parte del territorio, principalmente en la región de la Llanura Costera del Pacífico, Mesa Central y Eje Neovolcánico.

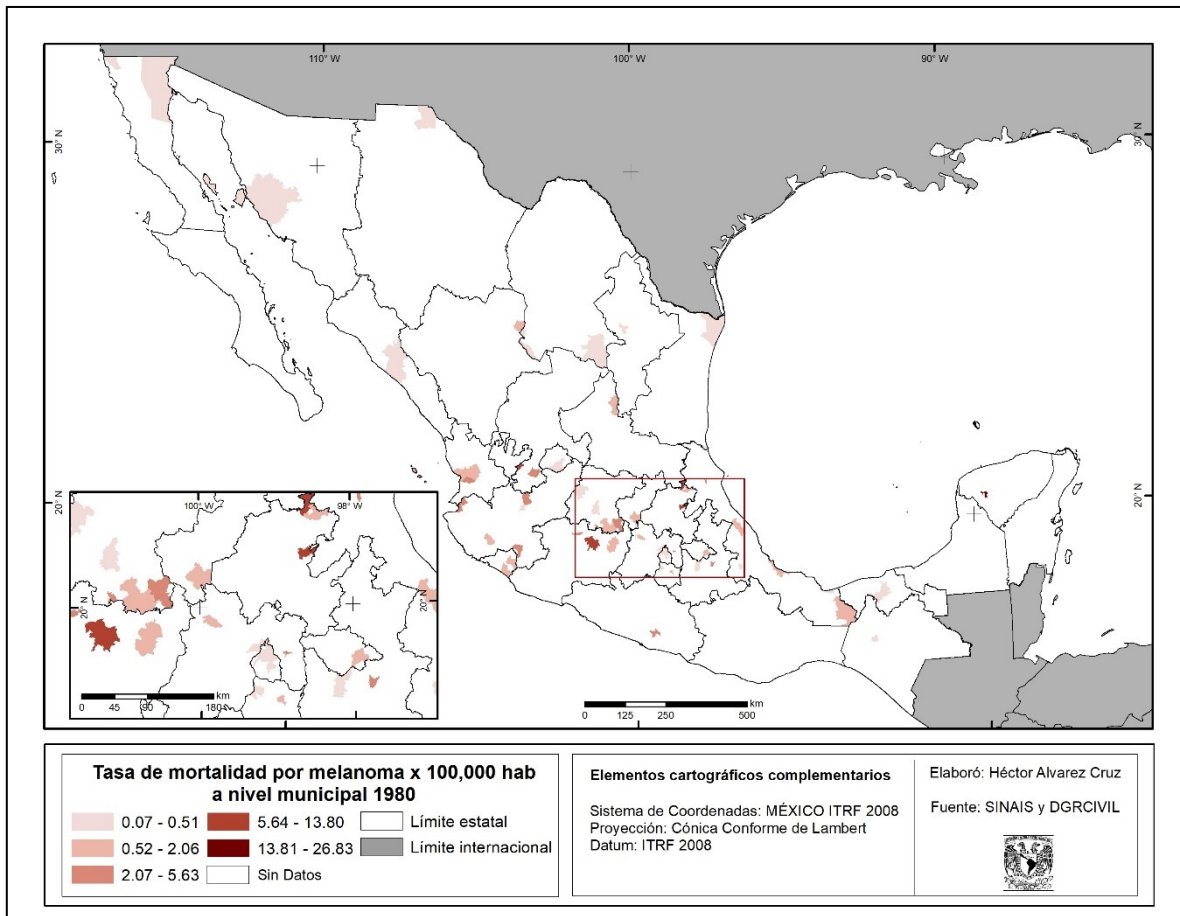


Figura 3.25.- México: tasa municipal de mortalidad por melanoma, 1980.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

Los máximos se presentan en sólo 20 municipios, los cuales destacan Sacalum en Yucatán; Ixtlahuacán del Río, Puerto Vallarta y Autlán de Navarro en Jalisco; Xalisco, Tepic y San Blas en Nayarit; Tecomán y Colima en Colima; Morelia y Jiménez en Michoacán; Atolinga y Jalpa en Zacatecas; Jerécuaro, Uriangato y Salva Tierra en Guanajuato, Gómez Palacio en Durango; Torreón en Coahuila; Chicoloapan, Atlacomulco y Acambay en el Edo de México; San Felipe Orizatlán y Zacualtipán de Ángeles en Hidalgo. En la región de la Sierra Madre del Sur y la Península de Yucatán se observan escasos datos.

En el año de 1985 la tasa de mortalidad (Figura 3.26) se concentra en el Eje Neovolcánico Transversal, principalmente en los municipios del estado de Colima y Armería en Colima; Tototlán, San Gabriel, Autlán de Navarro, Atotonilco el Alto, La Barca, Ameca,

Chapala y Arandas en Jalisco; Jerécuaro y Moroleón en Guanajuato; Huaniqueo, Hidalgo y Zamora en Michoacán; Aldama y Altamira en Tamaulipas, y gran parte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México además de Misantla y Martínez de la Torre en Veracruz.

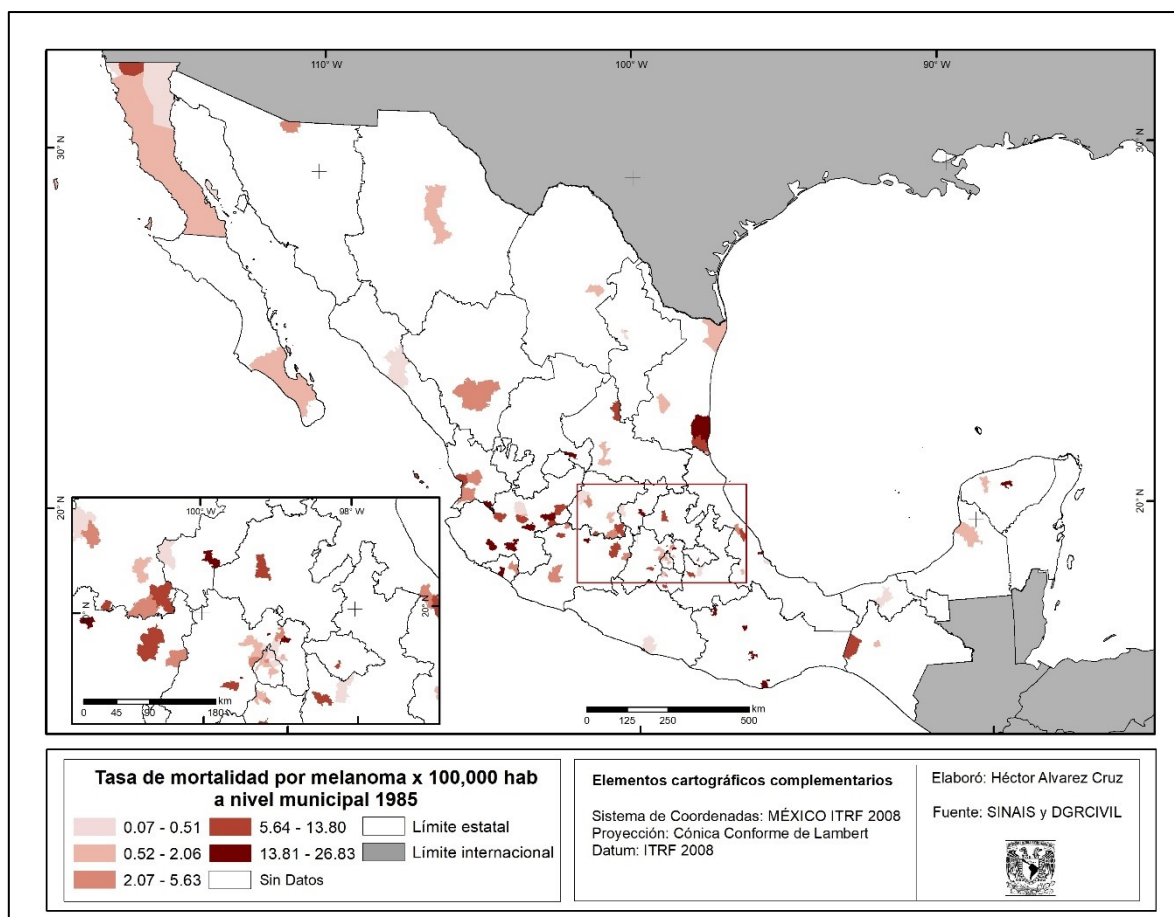


Figura 3.26.- México: tasa municipal de mortalidad por melanoma, 1985.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

La península de Baja California presenta valores altos y medios principalmente en Tecate y Ensenada. El sur del país en este año presenta registros en la región de la Sierra Madre del Sur y la Península de Yucatán.

En la década de 1990 (Figura 3.27) los municipios que presentaron valores altos se localizan en la Mesa Central y Eje Neovolcánico; destacan los municipios de Manzanillo en Colima; Tala, El Arenal, Acatic, Tepatitlán de Morelos y Lagos de Moreno en Jalisco;

Zinapécuaro en Michoacán; Corregidora en Querétaro; Huasca de Ocampo, Tizayuca, Zimapán, Tezontepec y Cuauhtepac en Hidalgo; Teoloyucan, Acambay, Atlacomulco, Metepec, Texcoco e Ixtlahuaca en el Edo de México; la Zona Metropolitana de la Ciudad de México; Honey, Tlhuapan y Tecamachalco en Puebla y Úrsulo Galván, Orizaba, Pueblo Viejo y Pánuco en Veracruz.

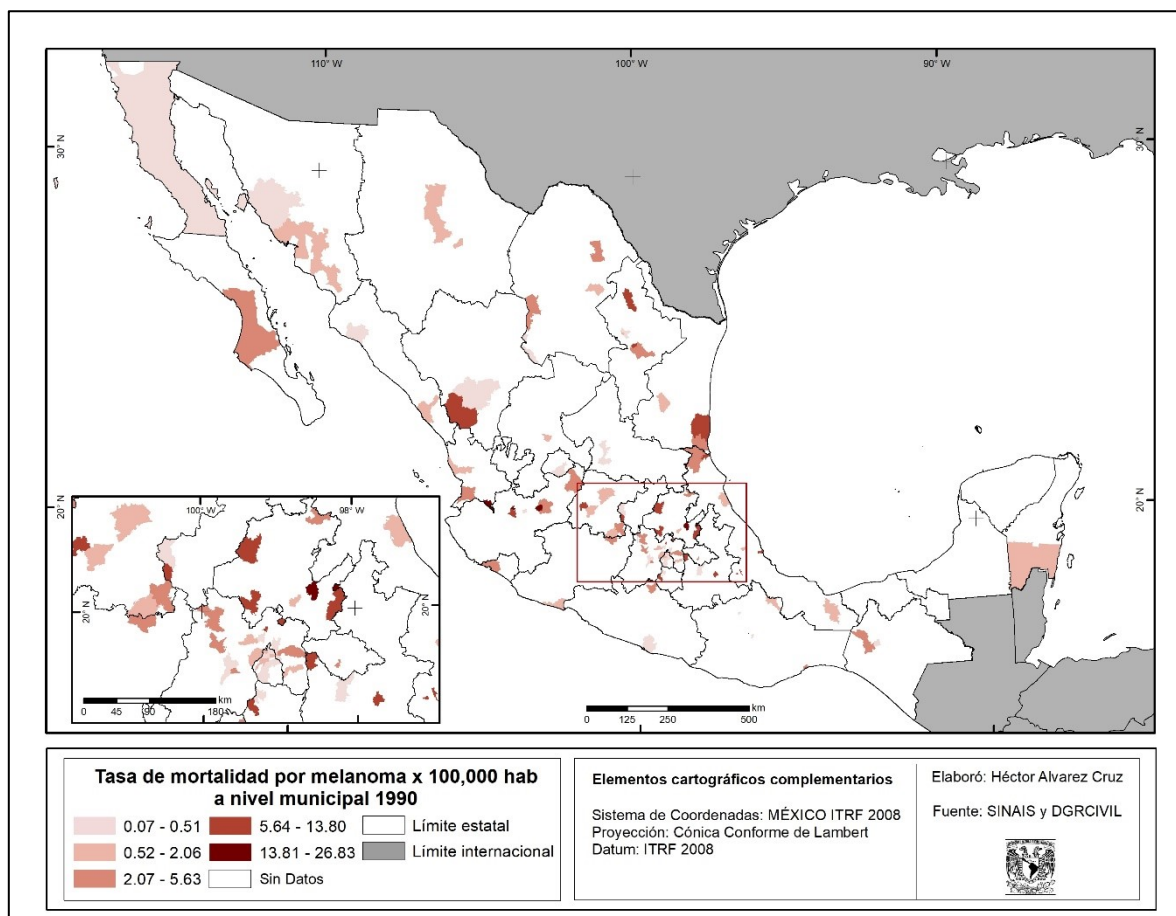


Figura 3.27.- México: tasa municipal de mortalidad por melanoma, 1990.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

Los municipios de la Llanura Costera del Pacífico, se agrupan en los valores medios, en los cuales se distinguen Amatlán de Cabañas y Santiago Ixcuintla en Nayarit; Guasave y Mazatlán en Sinaloa Navojoa, Guaymas y Cajame en Sonora. Y en el norte destacan Pueblo

Nuevo en Durango; Sabinas en Coahuila, Sabinas Hidalgo, Allende y Montemorelos en Nuevo León; Aldama y Altamira en Tamaulipas.

Los municipios que expresan valores máximos en el año de 1995 (Figura 3.28) son Tanhuato en Michoacán; Tonaya, Jamay, San miguel el Alto, San Gabriel, Chapala, La Barca, Lagos de Moreno, Arandas, San Juan de los Lagos en Jalisco; Santiago de Anaya y Apan en Hidalgo. La Llanura Costera del Pacífico muestra valores medios en los municipios de Mazatlán, Culiacán, Guasave, Ahome, Escuinapa en Sinaloa; Navojoa y Hermosillo en Sonora, Tepic en Nayarit. En el norte Madera, Camargo e Hidalgo del Parral en Chihuahua; Francisco I. Madero y San Pedro en Coahuila; Cadereyta y Montemorelos en Nuevo León. De nuevo La Sierra Madre del Sur y la Península de Yucatán no mostró valores significativos.

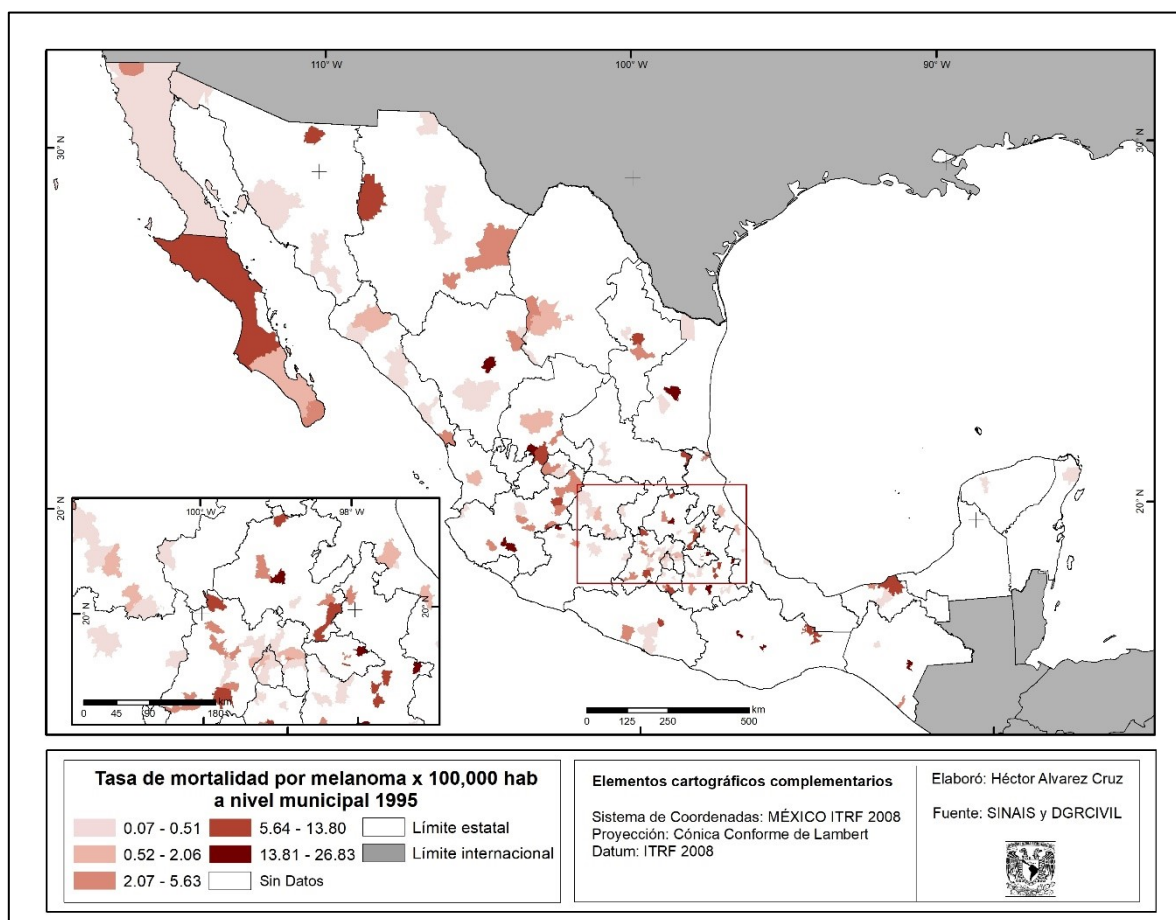


Figura 3.28.- México: tasa municipal de mortalidad por melanoma, 1995.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

La distribución de mortalidad por melanoma a nivel municipal comienza a presentar un patrón en su espacialidad ya que, de la misma manera, como en años anteriores, se ubica en el centro del país, principalmente en la región del Eje Neovolcánico y la Mesa Central.

En el año 2000 (Figura 3.29), la tasa de mortalidad de melanoma tuvo un incremento respecto a la cantidad de municipios que alcanzaron sus valores más altos.

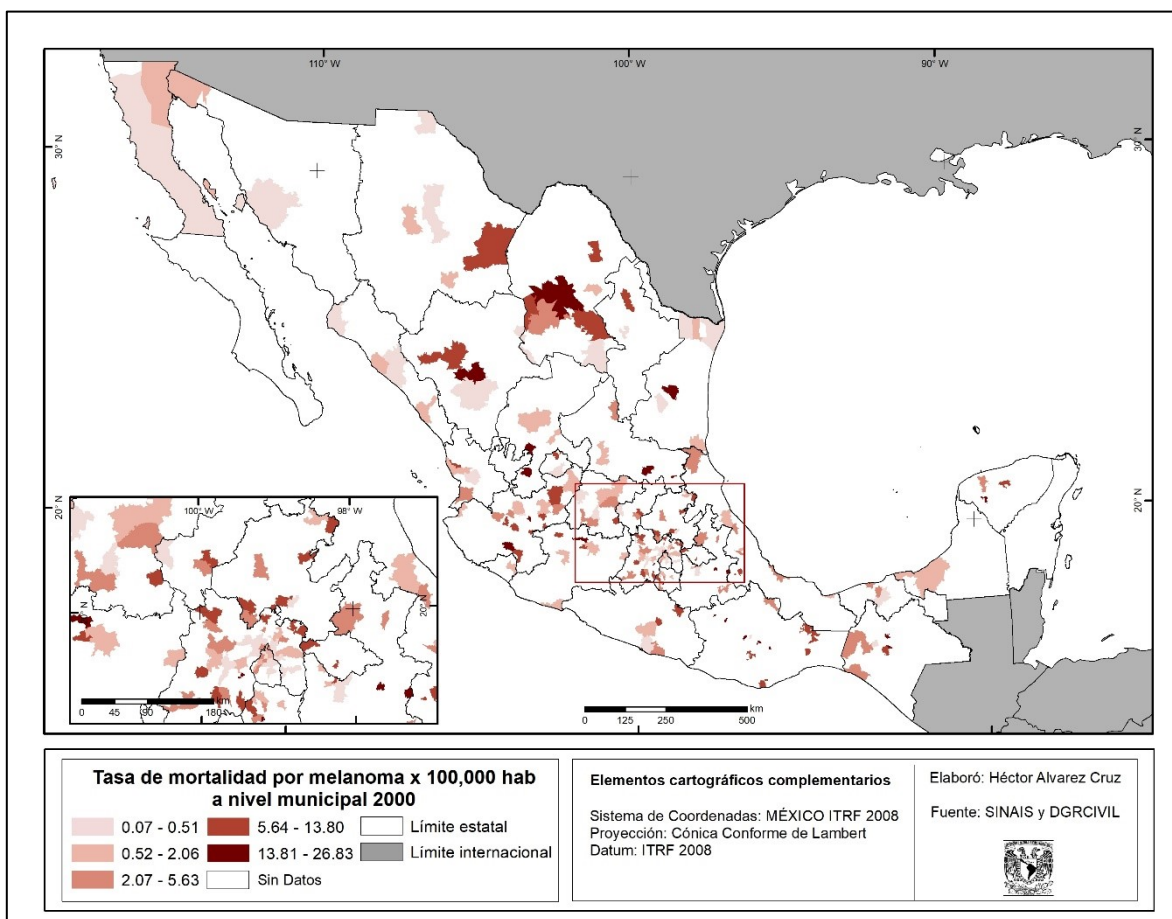


Figura 3.29.- México: tasa municipal de mortalidad por melanoma, 2000.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

Los municipios de la región de la Mesa Central y el Eje Neovolcánico como San Gabriel, Juanacatlán, Cocula, San Juan de los Lagos, Arandas, Tototlán, Tizapán el Alto en Jalisco; Huaniqueo, Jiménez, Quiroga y Zamora en Michoacán; Apaseo el Alto, Valle de Santiago, Abasolo y San Miguel de Allende en Guanajuato; Tepetongo y Tlaltenango en

Zacatecas; Dolores Hidalgo y Valle de Santiago en Guanajuato; Tepetongo y Tlaltenango en Zacatecas, Tequisquiapan en Querétaro; San Antonio, Rayón y Matehuala en San Luis Potosí; la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y de Puebla. En el norte los municipios que presentaron valores altos fueron Canatlán en Durango; Cuatro Ciénegas, Camargo, Ramos Arizpe, Francisco I. Madero, San Pedro, Sabinas en Coahuila, Sabinas Hidalgo en Nuevo León y Padilla en Tamaulipas. Algo significativo es que en esta década la Península de Yucatán (Mérida y Ciudad del Carmen) presenta municipios con valores altos y medios.

En el quinquenio del 2005 la distribución de la mortalidad por melanoma se observa muy similar al quinquenio pasado (Figura 3.30).

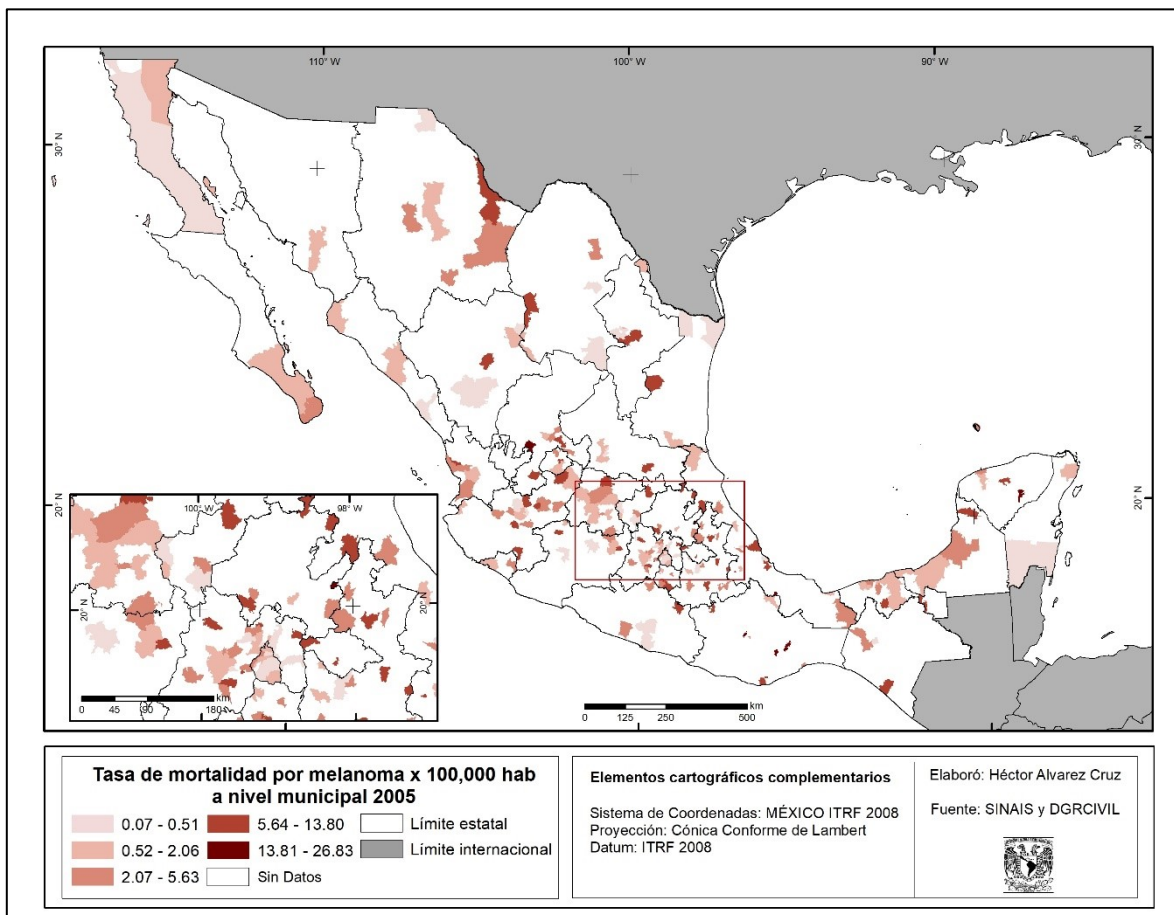


Figura 3.30.- México: tasa municipal de mortalidad por melanoma, 2005.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

Sin embargo, presentó los máximos más altos. Los principales valores máximos se localizaron en la región de la Mesa Central y el Eje Neovolcánico en los municipios de Ixtlahuacán del Río, Encarnación Díaz, Zacoalco de Torres, Tuxpan, Arandas, Chapala, Tala y Acatic en Jalisco; Villagrán, San Diego de la Unión, Acámbaro, Dolores Hidalgo y Guanajuato en Guanajuato; Tuxpan, Zamora y Zinapécuaro en Michoacán; Pinal de Amoles, Tequisquiapan y Corregidora en Querétaro; Otumba y Tenango del Valle en Edo de Méx; la Zona Metropolitana de la Ciudad de México; Tula de Allende, Tezontepec y Huautla en Hidalgo; Calpulalpan y Tlaxcala en Tlaxcala; Honey, Tetela de Ocampo, Chignahuapan y Zacapoxtla en Puebla; Tlacojalpan, Ixtlahuacán de Madero, Actopan, Poza Rica y Orizaba en Veracruz. Al oeste, la Llenura Costera del Pacífico muestra valores medios en los municipios de Puerto Vallarta en Jalisco; Xalisco, Compostela, Santiago Ixcuintla, Tepic en Nayarit; Colima y Manzanillo en Colima; Cajeme, Culiacán y Ahome en Sinaloa; Bacum en Sonora. En el norte los municipios con valores altos son Ojinaga, Camargo y Hidalgo del Parral en Chihuahua; San Juan del Río en Durango; Francisco I. Madero y Sabinas en Coahuila; Santiago y Cadereyta de Jiménez en Nuevo León y Ciudad Madero en Tamaulipas. La Sierra Madre del Sur presenta valores medios. La Península de Yucatán presento valores medios y altos en Chankom, Izamal, Progreso, Champotón, Hecelchakán, Mérida, Benito Juárez y Ciudad del Carmen.

La distribución de los municipios con valores máximos de mortalidad se expresa de manera más homogénea dentro del país en el año de 2010 (Figura 3.31).

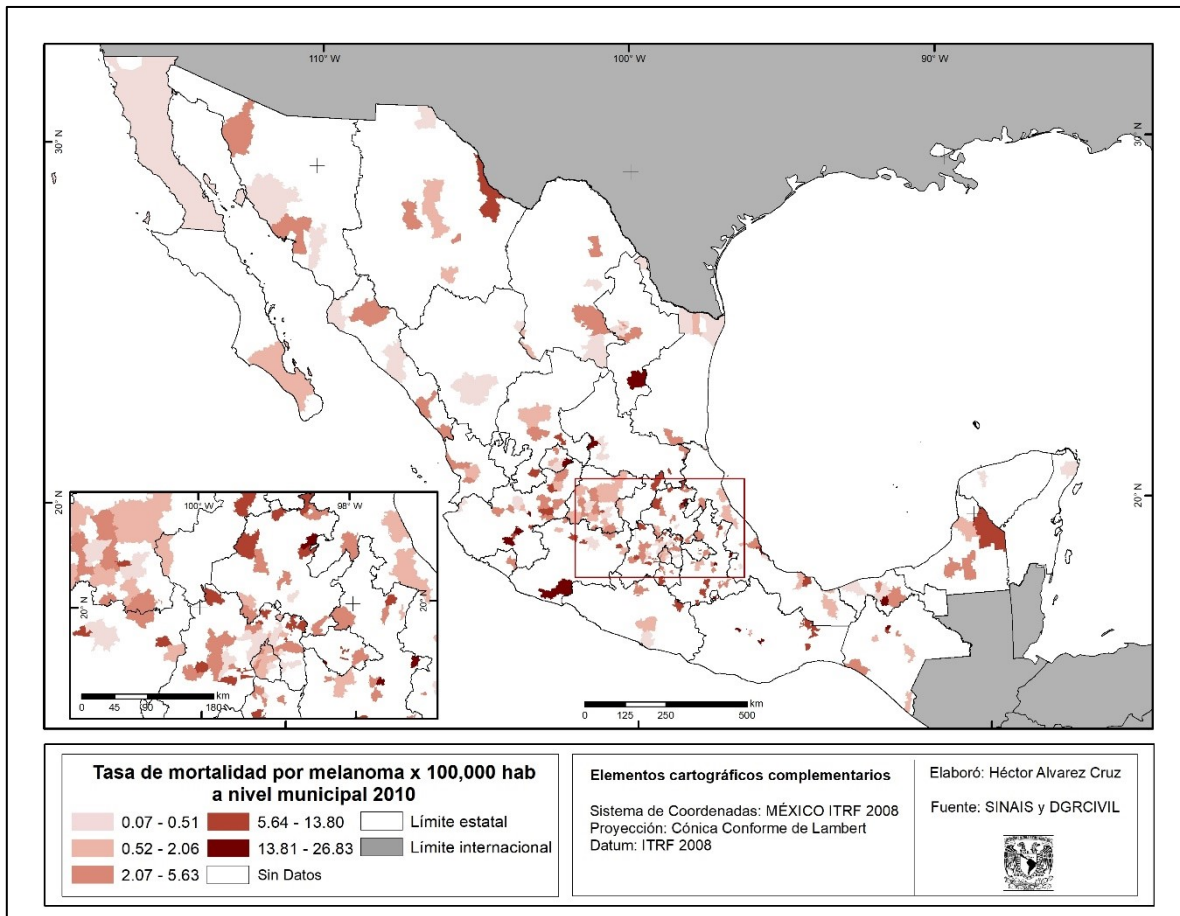


Figura 3.31.- México: tasa municipal de mortalidad por melanoma, 2010.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

Se presentan casos de mortalidad en todas las regiones del territorio. Los municipios que resaltan con valores máximos en estas regiones son Atoyac, Jalostitlán, San Gabriel, Sayula, Juanacatlán, Tizapán el Alto, Arandas en Jalisco; El llano y Rincón de Romos en Aguascalientes; Jalpa y Ojocaliente, Jerez y Zacatecas en Zacatecas, Ahualulco y Tancanhuitz en San Luis Potosí; Arteaga, Zacapu y Zamora en Michoacán; Acambay y Aculco en Edo de Méx; la Zona Metropolitana de la Ciudad de México; Chapulhuacán, Apan, Ixmiquilpan y Tizayuca en Hidalgo; Jalpan de Serra en Querétaro; General Felipe Ángeles, Chilchotla, Acatlán y San Pedro Cholula en Puebla; La antigua , Orizaba, Actopan y Úrsulo Galván en Veracruz. Al norte los municipios con mayores valores se localizaron en Ojinaga y Delicias en Chihuahua; Cadereyta de Jiménez y Santiago y en Nuevo León. La Llanura

Costera del Pacífico, la Península de Baja California y la Península de Yucatán también presentan valores significativos. Los municipios que destacan de estas zonas son Santiago Ixcuintla y Xalisco en Nayarit; Mazatlán y Escuinapa en Sinaloa; Hopelchén y Escárcega en Campeche. La Sierra Madre del Sur presenta valores en las partes altas de Guerrero y Chiapas.

En este quinquenio del 2015 (Figura 3.32), se presentaron los valores máximos de todo el período de estudio, sin embargo, muy pocos municipios presentaron estos valores. El patrón se presentó de manera muy marcada, el centro y norte del país son la constante en la distribución de la mortalidad por melanoma, principalmente en las regiones de la Mesa Central y el Eje Neovolcánico.

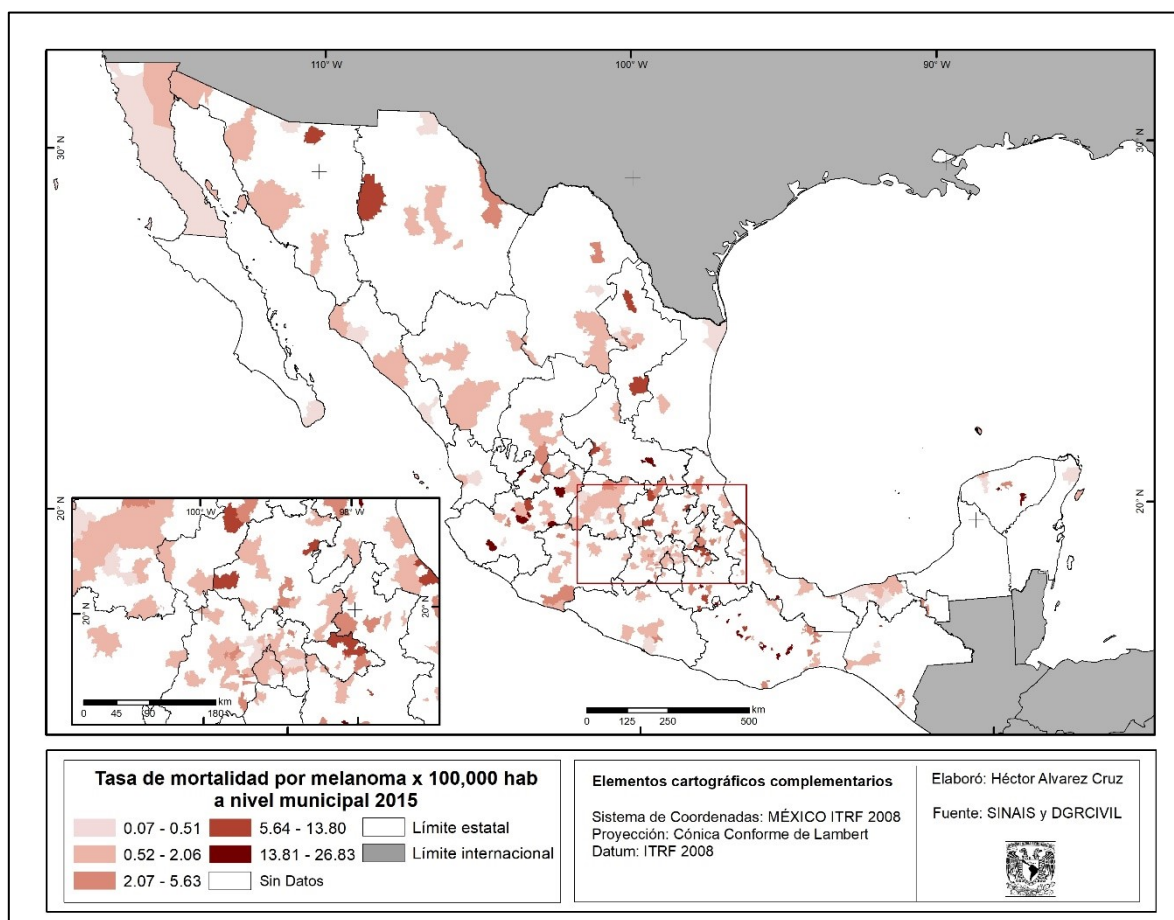


Figura 3.32.- México: tasa municipal de mortalidad por melanoma, 2015.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

Los municipios que presentaron valores altos son La Barca, Atlán de Navarro, Tlajomulco de Zúñiga, Cocula, San Juan de los Lagos en Jalisco; Ahualulco y Alaquiles en San Luis Potosí; La Zona Metropolitana de la Ciudad de México; Tianguistengo, Pachuca y Huichapan en Hidalgo; Acatlán, Chignahuapan y Tetela de Ocampo en Puebla; Tlaxco, Huamantla y Tepetitla en Tlaxcala; Tlacojalpan, Ciltlaltépec y Tecolutla en Veracruz. El norte presentó los siguientes municipios Pueblo Nuevo y Santiago Papasquiari en Durango; Ojinaga, Madera y Chihuahua en Chihuahua; Cananea y Caborca en Sonora; Cadereyta de Jiménez, San Pedro Garza García y Santiago en Nuevo León. En la Llanura Costera del Pacífico, la Península de Baja California y La Sierra Madre del Sur también presentaron algunos municipios como San Blas en Nayarit, Guasave y Ahome en Sinaloa, Ensenada en Baja California y la región centro y norte de Oaxaca.

La distribución espacial de la tasa promedio a nivel municipal (Figura 3.33) presentó una mayor concentración en las regiones de la Mesa Central y el Eje Neovolcánico. El norte también mostró valores significados en los estados de Chihuahua, Coahuila y Nuevo León. En la Llanura Costera del Pacífico y la Península de Baja California se observaron valores medios.

En cuanto a la distribución de la tasa de mortalidad en altitudes de 0 a 50 msnm es apreciable que existe un mayor número en las Costas del Pacífico que en las Costas del Golfo de México, también es importante resaltar que la región de la Sierra Madre del Sur presenta registros en los municipios localizados en las partes altas.

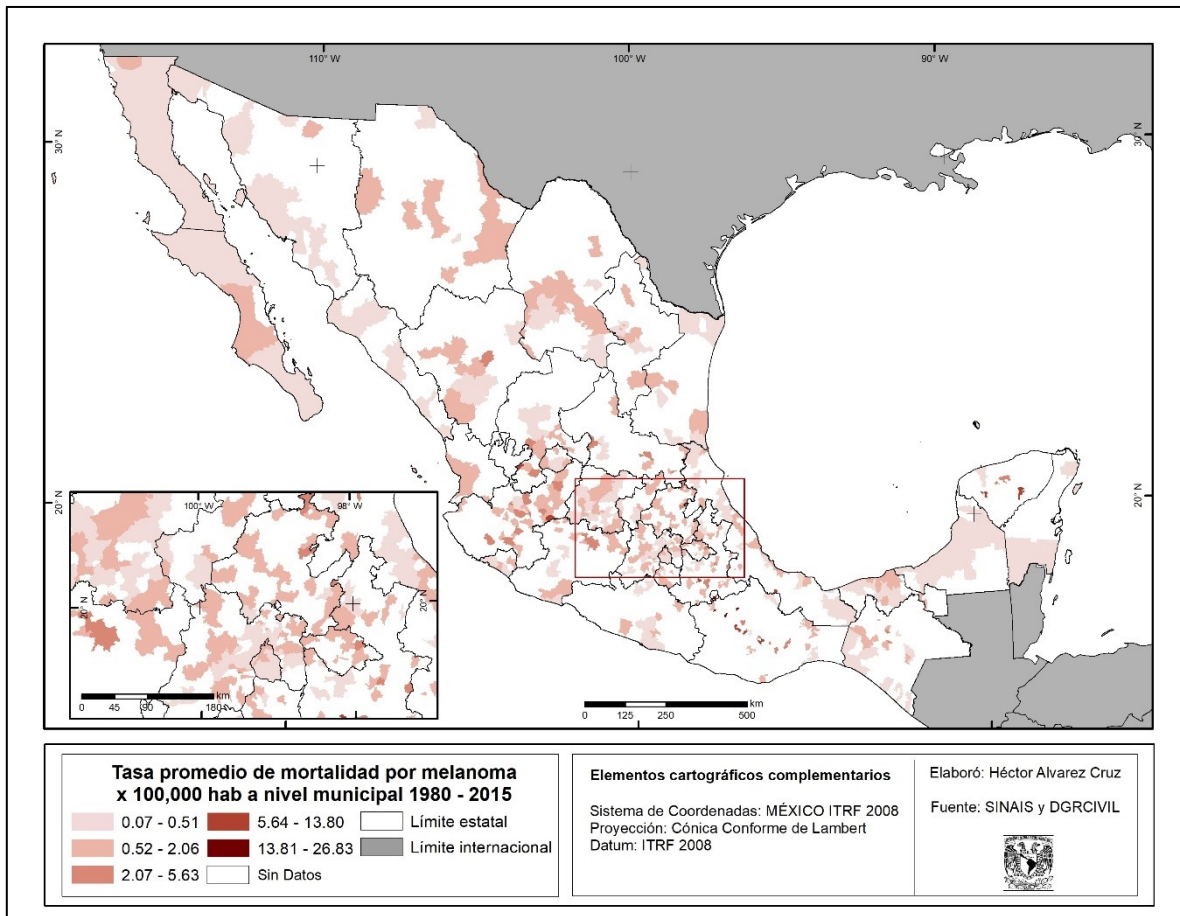


Figura 3.33.- México: tasa promedio de mortalidad por melanoma 1980-2015.

Fuente: Elaboración propia: con base en Acuña (2015). Base de datos de mortalidad por melanoma.

Es importante resaltar que estos municipios con valores máximos de mortalidad son La Barca, Autlán de Navarro, San Juan de los Lagos, San Gabriel y Tonalá en Jalisco; Atolinga y Tepetongo en Zacatecas; Huaniqueo, Morelia, Tanhuato, Arteaga y Zamora en Michoacán; Acámbaro y Jerécuaro en León, las capitales de San Luis Potosí y Aguascalientes; Tula de Allende, Tianguistengo, Cuautepec y Huautla en Hidalgo; Apizaco en Tlaxcala; Tlacojalpan, Ciltlaltépec, Úrsulo Galván en Veracruz y La Antigua en Veracruz. La Ciudad de México, Querétaro y Puebla presentan índices altos en casi toda su zona metropolitana.

Por otra parte, los valores altos en el norte del país se mostraron en los municipios de Cananea en Sonora, Madera y Ojinaga en Chihuahua; Francisco I. Madero, Sabinas y Cuatro

Ciénegas en Coahuila; Sabinas Hidalgo, Aramberri, Cadereyta Jiménez y Santiago y San Nicolás de los Garza en Nuevo León. Con respecto al sur del país, son escasos los municipios con altos índices, sólo Chankom, Hocabá, Izamal en Yucatán mostraron tal comportamiento.

Como indican los resultados, la distribución de la mortalidad por melanoma a nivel estatal se presenta en forma casi homogénea. Sin embargo, la concentración de casos se hace más evidente en el análisis a escala municipal. Esto permitió identificar los *hotspots* a nivel nacional. Ante este panorama es necesario tener en cuenta las siguientes medidas de protección y recomendaciones propuestas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2001).

-Limitar en lo posible el tiempo de exposición

Los rayos ultravioletas del sol son más fuertes entre las 10 de la mañana y las 4 de la tarde. Por ello, es recomendable en lo posible, la exposición al sol durante esas horas.

-Vigilar el índice UV

El índice UV proporciona información importante para ayudar a planear las actividades al aire libre y prevenir la sobreexposición al sol.

-Usar anteojos de sol que bloqueen un 99 a 100 por ciento de la radiación ultravioleta

Los anteojos de sol con una protección UVA y UVB de 99 a 100 reducen la exposición de los ojos al sol, que puede provocar cataratas y otros daños a la vista.

-Usar sombrero o gorra

Un sombrero de ala ancha o un gorro ofrece buena protección contra el sol para los ojos, los oídos, la cara y la parte posterior del cuello. Estas zonas son especialmente propensas a la sobreexposición al sol.

-Proteja con ropa otras áreas del cuerpo durante períodos de exposición prolongada al sol

La mejor protección contra el sol es el uso de ropa holgada, de tela tupida y que cubra todo el cuerpo y las extremidades.

-Use siempre una crema con filtro solar cuando esté al aire libre

Un filtro solar con un factor de protección solar (SPF) bloquea la mayor parte de la radiación ultravioleta dañina. Aplicar abundante crema con filtro solar sobre la piel expuesta y repetir la aplicación cada 2 horas siempre que esté trabajando, jugando o haciendo ejercicio al aire libre.

-Evite las lámparas y salones de bronceado.

Las fuentes de luz procedentes de lámparas para el bronceado pueden dañar la piel y los ojos si no están protegidos. Es buena idea evitar las fuentes artificiales de luz ultravioleta.

3.7 Susceptibilidad climática al melanoma

La susceptibilidad climática es una condición que aumenta la probabilidad de que un individuo desarrolle una enfermedad en particular, por ello su cálculo se desarrolló a través de la superposición espacial del promedio estacional de radiación UV y cobertura de nubes, con el propósito de determinar áreas con mayor o menor grado de predisposición climática al melanoma.

Es necesario mencionar que la susceptibilidad al melanoma está influenciada por una combinación de factores genéticos y ambientales. Es decir, de acuerdo con su estructura genética, un individuo es más vulnerable a una exposición ambiental. Un individuo con una constitución genética en particular podría ser más o menos afectado por un factor ambiental desencadenante (Figura 3.34).

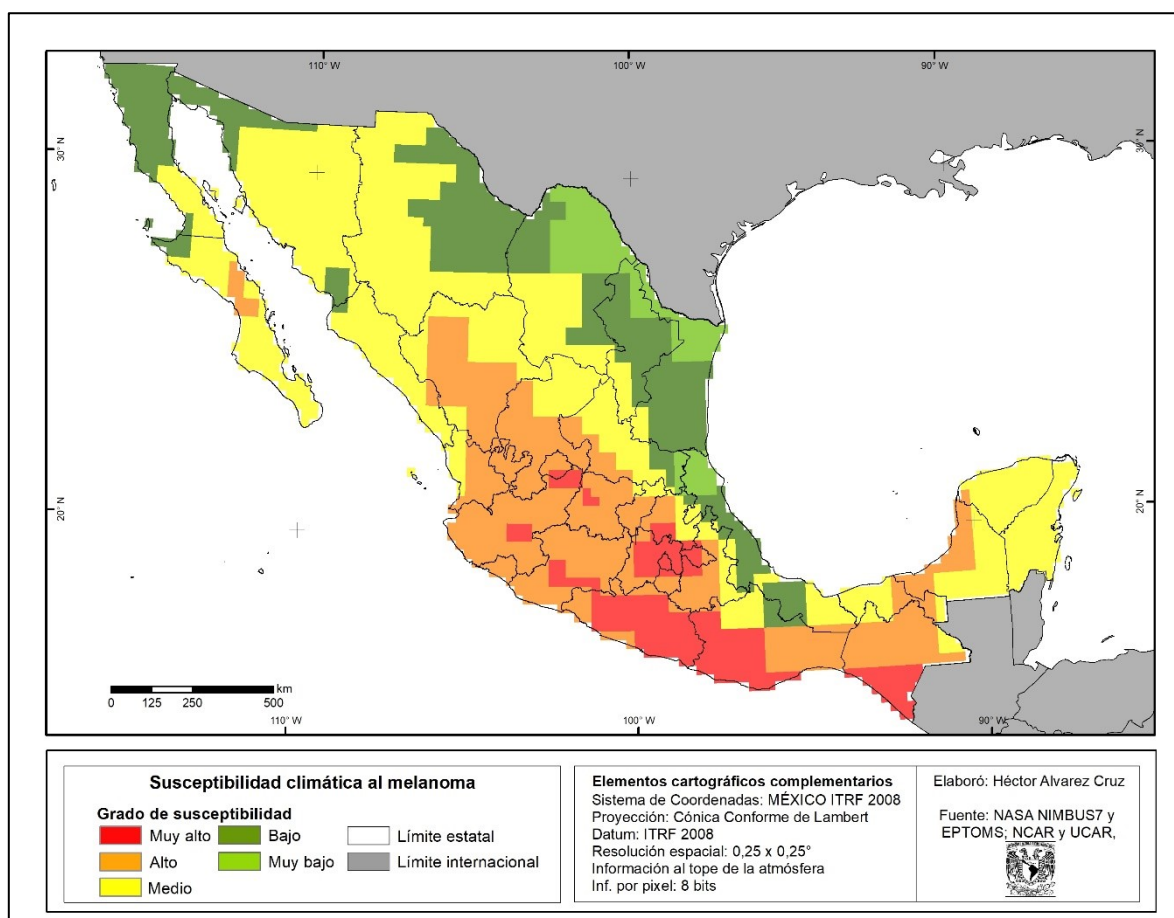


Figura 3.34.- Susceptibilidad climática al melanoma.

Elaboración propia

Por las características geográficas y climáticas de México, se presentan áreas bien definidas de susceptibilidad climática al melanoma. Las áreas con el grado muy alto de susceptibilidad climática al melanoma se encuentran en la Zona Metropolitana del Valle de México, en la Sierra Madre del Sur y la Región del Bajío. Los valores altos se localizan en la Mesa Central y en gran parte del Eje Neovolcánico, además de la Sierra de Chiapas y la Llanura Costera del Golfo Sur. Los valores Medios se distribuyen de manera heterogénea por todo el país, principalmente en la Península de Yucatán, el sur de la Península de Baja California y la Región Noroeste del país. Los valores bajo y muy bajo se presentan en las Grandes Llanuras de Norteamérica, la Llanura Costera del Golfo Norte y en el norte de la Península de Baja California.

DISCUSIÓN

El melanoma puede considerarse un problema de salud pública debido al incremento del número de casos en los últimos años. Por ello es necesario incorporar la gestión integral del riesgo al melanoma en México, identificando cuáles son las amenazas y las vulnerabilidades a escala municipal con base a los resultados de este estudio.

Las variables climáticas y de salud analizadas en esta investigación presentaron relaciones espaciales entre sí. Con ello se aporta un panorama general de este problema de salud, además proporciona herramientas teórico-metodológicas en el abordaje de problemáticas en el contexto de la Geografía Médica.

Al ser México un territorio situado en la franja tropical recibe una alta incidencia de radiación. La radiación está asociada a la latitud, pero también a la altitud. A estos hechos hay que agregar que la presencia de nubes puede disminuir la radiación, pero solo para aquellas regiones con nubes de desarrollo vertical como el noroeste, la Sierra Madre del Sur, y las costas del Golfo de México y Pacífico.

La hipótesis planteada al inicio de la investigación se cumple hasta cierto punto, ya que la variación temporal y espacial de los valores altos de radiación ultravioleta y escasa nubosidad, y la distribución espacial de casos de mortalidad por melanoma coinciden espacialmente en regiones como la Mesa Central y Eje Neovolcánico Transversal, principalmente, además de la Sierra Madre del Sur. Sin embargo, es importante recordar que la susceptibilidad es una condición física que no determina el número de casos, pues su desarrollo es multifactorial y también involucra características sociodemográficas y genéticas de la población.

La susceptibilidad a contraer melanoma es multifactorial, esta tiene gran dependencia en factores como la ocupación de las personas, las horas totales bajo exposición al sol, el horario en el cual se exponen las personas, el color de piel, composición genética, antecedentes cancerígenos, lugar de residencia y accesos a servicios de salud. Por ello resulta necesario trabajar más a fondo en la generación del mapa de susceptibilidad climática al

melanoma, mediante análisis que integren las actividades productivas a las que se dedican las poblaciones vulnerables.

La radiación UV está asociada con la altitud. En México las mayores tasas de incidencia por melanoma están asociadas con localidades entre los 1,500 y 2,500 msnm. Estas poblaciones humanas ya presentan alta exposición a la radiación y en análisis multitemporal de este estudio indican que estos números van al alza a escala nacional y regional. Esto significa que vivir en localidades con mayor incidencia de radiación solar influye de manera crónica en la dosis acumulada de radiación, pues la exposición solar durante una hora en localidades del norte y centro no es la misma. Por lo que los hábitos de las personas con alta exposición juegan un papel importante ya que constituyen el factor de la vulnerabilidad a melanoma. Por ello, debe considerarse si la población está expuesta ya sea por su actividad económica o recreativa (campesinos, jornaleros, trabajadores de la construcción, deportistas, vendedores ambulantes, personal de vigilancia vial, entre otros) a la radiación solar de manera continua.

Este estudio no consideró las actividades a las que se dedican los municipios con mayor número de casos y tasas de afectación por melanoma. Sin embargo, es de relevancia que los sitios donde se presentan más casos coinciden con sitios turísticos como la Península de Yucatán, las costas del Golfo de México en Veracruz, Tabasco y Campeche; las costas del Pacífico en Sinaloa, Guadalajara, Guerrero y Oaxaca; sitios urbanos como la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Guadalajara y Nuevo León y sitios de actividad agrícola como la Región del Bajío, la zona agrícola del centro-norte de Michoacán y Sinaloa. De allí que sea necesario que posteriores estudios identifiquen cuántas horas al día se exponen las personas en estas regiones. Esto daría pie a generar programas de salud pública que atiendan la prevención a la alta exposición a la radiación.

Lo que resulta aún más importante es que en este estudio se lograron identificar los *hotspot* o áreas con mayor incidencia para todo el período de análisis. Esto indica que, si los municipios afectados han seguido con tasas altas para el período estudiado, entonces las políticas y programas de prevención ante el melanoma están ausentes en esas localidades.

Por otro lado, es necesario contar con un mayor monitoreo de la radiación UV y generar programas de comunicación social que alerten sobre niveles de radiación peligrosos para la salud humana. El índice ultravioleta es una medida de la intensidad de la radiación UV sobre la superficie terrestre que tiene relación con los efectos sobre la piel humana, sirve como instrumento importante para hacer conciencia en la población y advertir a las personas de la necesidad de adoptar medidas de protección ante la radiación UV. Este instrumento es de carácter mundial, sin embargo, en México son pocos los espacios de comunicación donde se divulga esta información.

Según los resultados encontrados, los objetivos formulados se cumplieron al calcular la relación espacial entre radiación ultravioleta (UV) y el número de casos de mortalidad por melanoma en México. Asimismo, se describieron los efectos de la radiación ultravioleta (UV) y de la cobertura de nubes en el número de casos de mortalidad por melanoma. Además, a través de metodologías y herramientas de modelación estadística e incidencia espacial, se logró cartografiar la distribución de mortalidad por melanoma a nivel estatal y municipal, identificando zonas con susceptibilidad climática al melanoma y umbrales espaciotemporales de mortalidad de dicha enfermedad en México.

Debido a los objetivos de la investigación y a la escala nacional del análisis, los datos utilizados lograron evidenciar la temporalidad y ubicación de las diversas variables, generando un diagnóstico a nivel país. A pesar de esto es necesario señalar que existen sesgos en la información recabada ya que varían en su resolución espacial y temporal. De tal manera estudios posteriores requieren de validación o mediciones en superficie y actualización de información con dependencias del sector salud.

Los métodos y técnicas tanto estadísticas como espaciales favorecieron el análisis de las variables empleadas pues el Análisis Espacial Cuantitativo (AEC), el Análisis Exploratorio de Datos (AED) y el Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) cumplieron con el propósito de dar un panorama general del comportamiento de las variables, además resaltaron relaciones que en su componente espacial resultan coincidir con fenómenos atmosféricos a diferentes escalas. Sin embargo, las aproximaciones estadísticas y

espaciales son una representación de la realidad y, por lo tanto, se tiene que trabajar más en la sofisticación y avance en los métodos e integrar las características sociodemográficas de la población con el fin de reducir el sesgo interpretativo.

La exposición solar y la localización geográfica son factores para la acumulación de radiación UV, por ello es necesario reforzar el monitoreo de radiación UV en regiones de alta susceptibilidad, e indagar más sobre los productos satelitales para definir la distribución espacial de la radiación. También es importante hacer un esfuerzo a nivel academia y gubernamental para fomentar una red de medición en superficie de UV, ya que esta radiación interviene en diversos ámbitos de la sociedad. Aunado a esto es imprescindible que se creen plataformas de datos actualizados de variables meteorológicas, climáticas y del sector salud; y sobre todo que sean de acceso público.

Es de suma importancia identificar las características sociodemográficas y económicas en la población pues otra explicación podría ser el nivel socioeconómico, ya que, a nivel mundial, el melanoma presenta incidencia en niveles socioeconómicos altos, lo que podría relacionarse con las actividades, estilo de vida y dinámica estructural de la sociedad.

Por otra parte, es vital que las instituciones del sector salud tengan un registro adecuado y homologado en cuanto a los datos de mortalidad, así como un acceso libre para solicitar información. También es indispensable que estas instituciones creen una colaboración con la academia para la elaboración de investigaciones de este corte, con el fin de focalizar recursos en las zonas con mayor riesgo, o bien, que dentro de estas existan líneas de investigación que ayuden a interpretar los factores y la espacialidad de las enfermedades.

En la actualidad la interpretación e investigaciones de la espacialidad en el contexto de la Geografía Médica, exige conocimiento geográfico multidisciplinario, para futuras investigaciones es recomendable delimitar zonas o áreas con la mayor susceptibilidad, y corroborar y actualizar la información para evitar sesgos de información e interpretativos. Además de incorporar metodologías y técnicas que apoyen el análisis de otras variables para concretar un estudio de mayor precisión.

CONCLUSIONES

En nuestro país, en los últimos 35 años se ha presentado un incremento en la incidencia de cáncer de piel, por lo cual debe considerarse un problema de salud a nivel nacional. Aunado a esto, la radiación ultravioleta es el principal agente de desarrollo de melanomas, por ello es necesario estimar su medición como prioridad ambiental debido a las implicaciones en la salud de la población.

El fototipo de piel tiene relevancia en la incidencia del melanoma; la distribución de fototipos de piel en México refleja una diferencia regional entre los individuos del noroeste con respecto a los de la región centro-sur, debido a las diferencias en los aportes ancestrales. Resalta que la población mestiza mexicana presenta mayor presencia ancestral europea, seguida de la nativa americana y en menor medida la raza africana.

El cáncer de piel se origina cuando células anormales en alguna parte del organismo comienzan a crecer de manera descontrolada. Las zonas más vulnerables de la piel son las áreas sin protección del cuerpo humano como la cara, cuello, antebrazos y manos. Reducir la exposición limita la aparición. El tiempo de evolución no se conoce en concreto. En nuestro país, los autores que han investigado este problema refieren que el tiempo promedio, entre la primera manifestación y asistencia médica (evolución de la enfermedad) es de 13,18 y 35 meses.

La estación del año es un factor de gran relevancia, ya que se recibe más radiación en los meses de las estaciones de primavera y verano, con respecto a los meses de otoño e invierno, debido a que la altura del sol es mayor y los días son más largos. La latitud es un factor de control muy importante, dado que determina tanto la duración de la luz diurna como la distancia por la que viajan los rayos del sol a través de la atmósfera.

La cartografía estacional de radiación ultravioleta de este estudio arrojó como resultado que la estación con mayor intensidad de rayos ultravioleta es primavera, principalmente en el Eje Neovolcánico y la Mesa Central; debido a los factores astronómicos

(declinación solar y posición geográfica) y climáticos (altitud-latitud) además de las características topográficas del país. De esta manera, en México el arreglo espacial de la distribución de UV está estrechamente relacionada con la altitud.

Por otra parte, la cartografía de cobertura de nubes mostró que en las regiones de Sierra Madre Oriental y la Llanura Costera del Golfo Norte presentan los porcentajes más altos de cobertura, generalmente influenciado por la formación de nubes por convección, encuentros de masas de aire de temperatura distinta y efectos topográficos. Es relevante resaltar que la cobertura nubosa en nuestro país está en constante cambio espacial y temporal y, por lo tanto, la intensidad de radiación general y ultravioleta se ve afectada en su dinámica.

El análisis espacial de altura de nubes identificó que la presencia de nubes con rangos de altura de 5,500 a 6,700 metros se encuentra en las regiones costeras de nuestro país, principalmente en la Llanura Costera del Golfo Norte y Sur, y la Llanura Costera del Pacífico generalmente asociadas a sistemas de estabilidad atmosférica. Por otra parte, las regiones de la Mesa Central, el Eje Neovolcánico Transversal y la Sierra Madre del Sur presentan nubes con un rango de altura de 2,500 a 5,000 metros; de esta manera la distribución de altura de nubes en el país está influenciada principalmente por efectos topográficos. Algunas laderas están más expuestas al sol que otras. Estas reciben mucha más radiación solar directa con el cielo despejado que los lugares cercanos al nivel del mar, particularmente por debajo de los 2,000-3,000 metros.

Es necesario remarcar que el tipo de nube afecta la intensidad y composición espectral de la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre, sin embargo, resulta complicado su medición porque representa una de las características más dinámicas en el entorno atmosférico. La capa de nubes también tiene la acción contraria, dado que sirve para retener gran parte del calor que de otro modo se perdería para la Tierra de día y de noche en forma de radiación.

Las tendencias a escala nacional manifiestan un incremento de casos de mortalidad principalmente en tres lapsos de tiempo; de 1987 a 1995; 1997 a 2005 y por último en los

años de 2009 a 2015. El número de casos aumentan con la edad para ambos sexos, pero de acuerdo a los registros, los grupos de edad más afectados van de los 50 a 79 años, con mayor frecuencia en hombres; el predominio en hombres es posible que se relacione con el hecho de que los hombres tienden a consultar al médico tardíamente, incluso en etapas avanzadas de varias enfermedades como cáncer y diabetes. Sin embargo, en el grupo de edad de los 25-29 años y 85 y más la frecuencia es inversa, es decir, se presenta mayor en mujeres. Debemos tener en cuenta que la exposición excesiva al sol en personas entre 15-35 años puede contribuir al cáncer de piel en la edad adulta.

Se debe insistir que al agregar el componente social (no solo el poblacional, sino el que se refiere a la dinámica de la gente), los estudios de Geografía Médica requieren de mayor especificidad para obtener mejores resultados, por ejemplo, es importante incorporar datos locales tanto de las variables físicas, como los datos de mortalidad y morbilidad.

Las características físico-geográficas del país favorecen el impacto con mayor intensidad de los rayos ultravioleta y resultado de esto es la relación altitud – latitud, la cual indica que la principal concentración de casos tasados se encuentra en el rango de altitud de 1,500 a 2,500 msnm. Esto se puede explicar por dos cuestiones: a) en esta región se presentan las zonas del país con mayores densidades de población, sin embargo, b) estas regiones se encuentran a una altitud promedio de 2,200 msnm, lo cual implica una mayor cercanía con la radiación UV, y por ende una mayor intensidad.

Además, se observa una región importante que va de los 0 a 500 msnm, lo que podría asociarse a poblaciones costeras con una mayor exposición solar. Sin embargo, a pesar de estos patrones apreciables, existe presencia de casos de melanomas en todas las altitudes latitudes.

La mayoría de los casos de mortalidad por melanoma a nivel estatal y municipal se observaron en las regiones del Eje Neovolcánico Transversal y la Mesa Central. Además, la distribución espacial del número de casos está dividida por el Eje Neovolcánico. Los estados del norte muestran valores medios y altos, mientras que los estados del sur tienden a valores bajos de mortalidad. A nivel municipal los valores máximos de mortalidad se localizaron en

la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Guadalajara y Puebla. Además de los municipios que componen la Región del Bajío y la Región Agrícola del Pacífico principalmente en los municipios de Hermosillo y Benito Juárez en Sonora. Por otra parte, los valores altos en el norte del país se mostraron en los municipios de Tijuana y Mexicali en Baja California y la capital de Chihuahua, Torreón y Saltillo en Coahuila y Monterrey y San Nicolás de los Garza en Nuevo León. Con respecto al sur del país, son escasos los municipios con altos índices de mortalidad, los cuales se presentan en la Sierra del Madre del Sur y la Península de Yucatán.

La susceptibilidad asociada al medio físico incrementa la probabilidad de contraer melanoma, a pesar de ello no determina su desarrollo. Las áreas con la susceptibilidad climática al melanoma se encuentran en la Zona Metropolitana del Valle de México, en la Sierra Madre del Sur y la Región del Bajío. Además de la Mesa Central y en gran parte del Eje Neovolcánico. No obstante, la ventaja de trabajar a nivel nacional y municipal (inter-escalar), evidencia tanto regiones de incidencia como puntos particulares de afectación, los cuales, con miras a programas de apoyo territorial permiten enfocar la atención en lugares específicos.

A nivel nacional, se necesitan programas de protección solar para dar a conocer los peligros para la salud de la radiación UV y lograr cambios en actividades y estilos de vida, con el fin de disminuir la tendencia al aumento continuo de los casos de cáncer de piel. Además, que existen ventajas al aplicar acciones de prevención para la salud, los programas educativos eficaces pueden favorecer las economías de los países, al reducir la carga financiera que suponen para los sistemas de atención de salud los tratamientos del cáncer de piel y de las cataratas.

A nivel mundial la inversión en el tratamiento de enfermedades es muy alta, cuando en muchas ocasiones se pueden prevenir. El índice UV solar mundial debe constituir como componente importante en salud pública para tomar este tipo de acciones a distintas escalas.

Es indiscutible que la prevención y el diagnóstico oportuno debe ser la estrategia más importante para disminuir los melanomas asociados con la exposición al sol. Por ello es prioritario concientizar e informar de manera constante y clara a la población para el uso de medidas preventivas para evitar esta enfermedad. La información creada en esta investigación adquiere importancia como una herramienta básica para la toma de decisiones en distintos ámbitos de la actividad social.

REFERENCIAS

- American Cancer Society. (2011). Cáncer de piel: células basales y células escamosas. Magazine American Cancer Society. 3(1), 1-30.
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (2001). El Sol, la radiación ultravioleta y usted. Estados Unidos de América: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Disponible en: <https://espanol.epa.gov/espanol/indice-uv> Consultado el 10 de agosto del 2019.
- Alfeirán, A., Escobar, G., de la Barreda Becerril, F., Herrera, A., Padilla, A., y Suchil, L. (1998). Epidemiología del melanoma de piel en México. Revista del Instituto Nacional de Cancerología, 44(4), 168-74.
- Alfaro-Sánchez, A., García-Hidalgo, L., Casados-Vergara, R., Rodríguez-Cabral, R., Piña-Osuna, A. y Sánchez-Ramos, A. (2016). Cáncer de piel. Epidemiología y variedades históricas, estudio de cinco años en el noreste de México Revista Mexicana de Dermatología, 60(2), 106-113.
- Armstrong, B y Krickler, A. (2001). The epidemiology of UV induced skin cancer. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 63(1), 8-18.
- Barry, R. y Chorley R. (1999). Atmósfera, tiempo y clima. Barcelona, España: Ediciones Omega.
- Bélanger, M., Gray-Donald, K., O'Loughlin, J., Paradis, G y Hanley, J. (2009) Influence of weather conditions and season on physical activity in adolescents, Annals of Epidemiology, 19 (3), 180-186.
- Benavides, H. (2010). Información técnica de radiación ultravioleta, su índice y pronóstico. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 41 pp.
- Buzai, G. (2009). Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica: sus cinco conceptos fundamentales. Capítulo 7. Argentina: Universidad Nacional de Luján – GESIG. 230 pp.
- Buzai, G. y Baxendale, C. (2009). Análisis exploratorio de datos espaciales. Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG), 1(1), 1-11.

- Buzai, G. (2012). Geografía y sistemas de información geográfica: Evolución teórico-metodológica hacia campos emergentes. *Revista geográfica de América Central*, 2(1), 15-67 pp.
- Buzai, G. y Baxendale, C. (2012) Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica. Argentina: Ordenamiento Territorial. Temáticas de base vectorial.
- Cabrera, C. y López-Nevot, M. (2006). Efectos de la radiación ultravioleta (UV) en la inducción de mutaciones de p53 en tumores de piel. *Oncología*, 29(7), 291-298.
- Castanedo-Cázares, J., Torres-Álvarez, B., Portales-González, B., Martínez-Rosales, K. y Hernández-Blanco, D. (2016). Análisis de la radiación solar ultravioleta acumulada en México. *Revista Médica del Instituto Mexicano de Seguro Social*, 54(1), 26-31.
- Centro Nacional de Ciencias de la Atmósfera y Centro Nacional de Observación de la Tierra (NCAR-UCAR). (2019). Unidad de Investigación Climática (serie temporal), ed 3.24.01: Inglaterra, base de datos, http://data.ceda.ac.uk/badc/cru/data/cru_ts/cru_ts_3.24.01/data/cld Consultado el 10 de febrero del 2019.
- Chakhar, S y Mousseau, V. (2008). GIS-based Multicriteria Spatial Modeling Generic Framework. *International Journal of Geographical Information Science*, 22(11), 1159-1196.
- Cohn, S. (2017). Nueva edición del Atlas Internacional de clasificación de nubes. Organización Meteorológica Mundial. 66 (1),1-17.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2010). Manual teórico practico del observador meteorológico en superficie. México: Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 278 pp.
- Cuéllar, L y Gutiérrez, S. (2014). Desarrollo de la geografía médica o de la salud en Cuba. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 388-401.
- Dirección de Monitoreo Atmosférico. (2018). Índice de radiación ultravioleta. México: Dirección de Monitoreo Atmosférico. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx> Consultado el 23 de marzo del 2019.
- Estrada-Cajigal, V. (1992). Datos de radiación solar en la República Mexicana: Alcances y limitaciones. *La Revista Solar* (21), 22-26.

- Everardo, P. (2016). Variación en los fenotipos de pigmentación y el mestizaje en México. Tesis de (Maestría). UNAM, México. 124 pp.
- Eydel, J., Larín, R., y García, E. (2011). Hacia métodos de análisis de datos espaciales raster en el nivel semántico. *Computación y Sistemas*, 15 (1), 91-106 pp.
- Federación Mexicana para la Dermatología. (2014). Aumenta el número de casos de cáncer de piel en México. México. Federación Mexicana para la Dermatología. Disponible en: <http://fmd.org.mx/?id=314%2C0%2C0%2C1%2C0%2C0> Consultado el 11 de noviembre del 2018.
- Getis, A y Jared A. (2004). Construcción de la matriz de pesos espaciales utilizando una estadística local. *Análisis geográfico*, 36 (2), 90-104.
- González-Pumariega, M., Vernhes, M., Sánchez-Lamar, A. (2009). La radiación ultravioleta. Su efecto dañino y consecuencias para la salud humana. *Theoria*, 18(2), 69-80.
- Gutiérrez, R. (2003). Cáncer de piel. *Revista de la Facultad de Medicina*, 46(4), 166-171.
- Henderson-Sellers, A. y Robinson, P. (1999). *Contemporary climatology*. Londres:Logman.
- Hobbs, P y Deepak, A. (1981). *Clouds, their formation, opticalk properties and effects*. Academic Press: Londres.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2000). Metodología para el cálculo de indicadores de mortalidad. Colección: Metodologías estadísticas, 1(8), 2-9.
- Instituto Internacional de Investigación para el Clima y la Sociedad (IRI). (2018). Características de las nubes y radiación, ed 1:Estados Unidos, base de datos, <http://iridl.ldeo.columbia.edu/docfind/databrief/index.html?SetLanguage=es&sem=iridl%3ACloud-Characteristics-and-Radiation-Budget> Consultado el 15 de octubre del 2018.
- Kreith, F., Manglik, R. y Bohn, M. (2012). *Principios de transferencia de calor*. México: Cengage Learning Editores. 624 pp.
- Lino-Silva, L., Domínguez-Rodríguez, J., Aguilar-Romero, J., Martínez-Said, H., Salcedo-Hernández, R., García-Pérez, L., Herrera-Gómez, Á., y Cuellar-Hubbe, M. (2016). Melanoma in Mexico: Clinicopathologic Features in a Population with Predominance of Acral Lentiginous Subtype. *Annals of Surgical Oncology*, 23(13), 4189-419.
- Liu-Smith, F y Ziogas, A. (2017). An age-dependent interaction between sex and geographical UV index in melanoma risk, *Journal of the American Academy of Dermatology*, 10 (1016), 120-39.

- Markovic, S., Erickson, L., Rao, R., Weenig, R., Pockaj, B., Bardia, A., Vachon, C., Schild, S., McWilliams, R., Hand, J., Laman, S., Kottschade, L., Maples, W., Pittelkow, M., Pulido, J., Cameron, J., Creagan, E. (2007). Malignant melanoma in the 21st century, part 1: epidemiology, risk factors, screening, prevention, and diagnosis. *Mayo Clinic Proceedings*, 82(3), 364–380.
- Martínez-Saíd, H., Cuellar-Hubbe, M., Barrón-Velásquez, E., Padilla, A., López-Graniél, C., Herrera-Gómez, A., Mohar-Bentacur, A. (2004). Epidemiology of cutaneous melanoma in Mexico (1980–2002). *Society of Surgical Oncology*, 30(2):163.
- Mediavilla, M. (2004). *La atmósfera: materia y radiación*. España: Equipo Sirius. 276 pp.
- Medhaug, I., Olseth, J. y Reuder, J. (2009). UV radiation and skin cancer in Norway. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, (26), 232–241.
- Méndez-Pérez, I. y Gómez-Azpeitia, G. (2015). Conceptos generales. *Prontuario solar de México*. Capítulo 1 (pp. 11-31). México: Universidad de Colima, Universidad Veracruzana. 149 pp.
- Mendoza, B. (2015). Radiación solar y forzamiento radiativo antropogénico y natural. *Reporte mexicano de cambio climático. Grupo 1 Bases científicas, modelos y modelación*. Capítulo 8 (pp. 179-204). México: Universidad Nacional Autónoma de México. 294 pp.
- Morales, R. (2012). Cálculo del índice de nubosidad a partir de imágenes AVHRR. Tesis de (Licenciatura). UNAM, México.
- Olcina, J. (2013). Clasificación de las nubes de Lamarck y Howard al atlas internacional de nubes. *Clima, naturaleza y desastre: España e Hispanoamérica durante la Edad Moderna*, 193–224.
- Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT). (2018). CLARA-A2: CM SAF Cloud, Albedo and surface radiation, ed 2: Alemania, base de datos, https://navigator.eumetsat.int/product/EO:EUM:CM:MULT:CLARA_AVHRR_V002 Consultado el 20 de junio del 2019.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (1994). Aire y radiación. Estados Unidos de América: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. 25 pp.

- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2013). Índice UV solar mundial: Guía práctica. Estados Unidos de América: OMS.
- Ouhtit, A., Nakazawa, H., Armstrong, B., Krickler, A., Tan, E., Yamasaki, H., English, D. (1998). UV Radiation- Specific p53 mutation frequency in normal skin as a predictor of risk of basal cell carcinoma. *Journal of the National Cancer Institute*. 90(7), 523–531.
- Peixoto, J. y Oort, A. (1992). *Physics of climate*. Nueva York: AIP Press.
- Pinedo, J., Castañeda, R., McBride, J., Dávila, J., Mireles, F y Ríos, C. (2009). Estimates of the cancer incidence in Zacatecas, México. *The Open Dermatology Journal*, 3 , 58-62.
- Quiñones, A. y Almanza, R. (2014). Modeling ultraviolet radiation for mexican conditions. *Elsevier, Energy procedia*, 57, 1120 – 1226.
- Liu-Smith, F y Ziogas, A. (2017). An age-dependent interaction between sex and geographical UV index in melanoma risk, *Journal of the American Academy of Dermatology*, 10 (1016), 120-39.
- Rangel, H. (2008). Genetic admixture, relatedness and structure patterns among mexican populations revealed by the Y-Chromosome. *American Journal de Physical Anthropology*, 135, 448-461.
- Ramírez, M. (2006). La moderna geografía de la salud y las tecnologías de la información geográfica. *Revista Investigaciones y Ensayos Geográficos*, 4(4), 53-64.
- Roelandts, R. (2003). Diagnosis and treatment of solar urticaria. *Dermatologic Therapy*. 16(1), 52-56.
- Rubí-Castellanos, R., Martínez-Cortés, R., Muños-Valle, J., González-Martín, A., Cerda-Flores, R., Amaya-Palafox, M y Rangel, H. (2009). Pre-Hispanic Mesoamerican demography approximates the present day ancestry of mestizos throughout the terror of Mexico. *American Journal of Physical Antropology*, 139, 284-294.
- Salazar, M. (2017). *Sol y cáncer de piel*. España: Editorial Área de Innovación y Desarrollo. 35 pp.
- Smith, M., Goodchild, M., y Longley, P. (2018). *Geospatial analysis: A comprehensive guide to principies, techniques and software tools*. 6ta edition. Inglaterra: The Winchelsea Press.

- Tejeda, A y Gómez-Azpeitia, G. (Comp). (2015). *Prontuario solar de México*. México: Universidad de Colima, Universidad Veracruzana. 149 pp.
- Valdés-Barrón, M., Riveros-Rosas, D., Arancibia-Bulnes, C. y Bonifaz-Alfonso, R. (2014). The solar Resource Assessment in Mexico: State of the Art. *ELSEVIER, Energy procedia*, 57, 1299 – 1308.
- Valdés-Barrón, M., Peláez-Chávez, J., Bonifaz-Alfonso, R., Rivero-Rosas, D., Velasco-Herrera, V. y Estévez-Pérez, H. (2013). UVB Solar radiation climatology for México. *Geofísica Internacional*, 52(1), 31-42.
- Velázquez, J. (2007). *Climatología de la radiación ultravioleta banda B para la República Mexicana derivada del uso de satélites de monitoreo atmosférico*. Tesis de (Licenciatura). UNAM, México.
- Villerías Alarcón, I. (2017). *Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE), en la mortalidad por de Diabetes Mellitus*. Curso de geografía de la salud: metodologías y aplicaciones. Curso impartido en el Instituto de Geografía, UNAM.
- Zkik, A. y Berdeaux, G. (2015). Prevalence and risk factors of skin cancer in Mexico: an observational study. *Value Health*, 18(7), 438 – 446.

ANEXOS

Anexo 1.- Tasa promedio de mortalidad a nivel municipal del período de 1980 a 2015

ESTADO	MUNICIPIO	TASA DE MORTALIDAD
Oaxaca	San Pedro Jocotipac	26.83
Oaxaca	San Pedro y San Pablo Tequixtepec	21.54
Oaxaca	San Juan Teposcolula	18.81
Oaxaca	Santiago Cacaloxtotec	18.00
Oaxaca	Santa Inés de Zaragoza	13.80
Oaxaca	Santo Domingo Nuxaá	11.44
Oaxaca	Nazareno Etna	10.48
Puebla	Coatzingo	8.47
Yucatán	Chankom	8.34
Oaxaca	Santiago Matatlán	8.03
Zacatecas	Atolinga	7.75
Yucatán	Sacalum	7.51
Jalisco	La Barca	6.75
Oaxaca	San Felipe Tejalápam	5.63
Veracruz	Tlacojalpan	5.35
Zacatecas	Tepetongo	4.62
Jalisco	Autlán de Navarro	4.14
Yucatán	Hocabá	4.11
Jalisco	San Juan de los Lagos	3.97
Edo. México	Atizapán	3.96
Puebla	Honey	3.68
Jalisco	San Gabriel	3.47
Oaxaca	Nejapa de Madero	3.41
Jalisco	El Arenal	3.36

ESTADO	MUNICIPIO	TASA DE MORTALIDAD
Michoacán	Huaniqueo	3.26
Michoacán	Morelia	3.17
Puebla	Atzitzintla	3.10
Jalisco	Juanacatlán	3.07
Jalisco	Atoyac	3.02
San Luis Potosí	Alaquines	3.01
Jalisco	Tlajomulco de Zúñiga	2.95
Oaxaca	San Francisco Telixtlahuaca	2.78
San Luis Potosí	San Antonio	2.67
Hidalgo	San Felipe Orizatlán	2.63
Puebla	Tepexi de Rodríguez	2.61
Jalisco	Tototlán	2.61
Hidalgo	Zacualtipán de Ángeles	2.47
Veracruz	Citlaltépetl	2.44
Puebla	General Felipe Ángeles	2.31
Chiapas	San Lucas	2.20
Yucatán	Izamal	2.13
Chiapas	Larráinzar	2.13
Zacatecas	Jalpa	2.12
Durango	San Juan del Río	2.06
Tlaxcala	Terrenate	2.04
Oaxaca	Tlacolula de Matamoros	2.03
San Luis Potosí	Ahualulco	2.03
Jalisco	Ixtlahuacán del Río	2.01
Nayarit	Amatlán de Cañas	1.91
Nuevo León	Sabinas Hidalgo	1.90

ESTADO	MUNICIPIO	TASA DE MORTALIDAD
Jalisco	Tonaya	1.88
Veracruz	Ursulo Galván	1.84
Hidalgo	Santiago de Anaya	1.84
Tamaulipas	Padilla	1.78
Jalisco	Tonalá	1.78
Oaxaca	San Pedro Pochutla	1.75
Michoacán	Tanhuato	1.72
Hidalgo	Tianguistengo	1.72
Michoacán	Arteaga	1.71
Edo. México	Tenango del Valle	1.68
San Luis Potosí	Rayón	1.66
Edo. De México	Capulhuac	1.63
Michoacán	Zamora	1.62
Guerrero	Olinalá	1.61
Oaxaca	Matías Romero Avendaño	1.60
Tlaxcala	Tlaxcala	1.59
Oaxaca	San Lorenzo Cacaotepec	1.59
Nuevo León	Aramberri	1.58
Coahuila	Sabinas	1.58
Jalisco	Tuxpan	1.57
Michoacán	Jiménez	1.53
Chihuahua	Ojinaga	1.51
Morelos	Zacatepec	1.50
Nuevo León	Cadereyta Jiménez	1.49
Querétaro	Pinal de Amoles	1.47
Veracruz	Orizaba	1.47

ESTADO	MUNICIPIO	TASA DE MORTALIDAD
Oaxaca	Ciudad Ixtepec	1.46
Oaxaca	San Sebastián Tutla	1.46
Jalisco	Acatic	1.45
Veracruz	La Antigua	1.44
Hidalgo	Cuautepec de Hinojosa	1.40
Oaxaca	Heroica Ciudad de Ejutla de Crespo	1.37
Puebla	Chilchotla	1.37
Hidalgo	Tula de Allende	1.26
Coahuila	Francisco I. Madero	1.26
Nuevo León	Santiago	1.26
Tlaxcala	Tepetitla de Lardizábal	1.26
Jalisco	Jamay	1.26
Jalisco	Tizapán el Alto	1.24
Edo. México	Atlacomulco	1.23
Chihuahua	Madera	1.22
Jalisco	Atotonilco el Alto	1.21
Morelos	Jojutla	1.21
San Luis Potosí	Tancanhuitz	1.20
Morelos	Miacatlán	1.18
Nayarit	Xalisco	1.18
Guerrero	Juan R. Escudero	1.17
Hidalgo	Chapulhuacán	1.17
Chiapas	Tzimol	1.16
Edo. México	Amanalco	1.14
Sonora	Cananea	1.12
Jalisco	Ameca	1.12

ESTADO	MUNICIPIO	TASA DE MORTALIDAD
Puebla	Chignahuapan	1.12
Edo. México	Acambay	1.11
Puebla	Acatzingo	1.10
Edo. México	Axapusco	1.10
Querétaro	Ezequiel Montes	1.10
Hidalgo	Huautla	1.09
Zacatecas	Tlaltenango de Sánchez Román	1.08
Tamaulipas	Hidalgo	1.07
Puebla	Acatlán	1.07
Tabasco	Jalapa	1.06
Guanajuato	Jerécuaro	1.06
Jalisco	Arandas	1.06
Guanajuato	Acámbaro	1.05
Veracruz	Tecolutla	1.05
Guerrero	Tixtla de Guerrero	1.04
Edo. México	Malinalco	1.04
Coahuila	Cuatro Ciénegas	1.03
Puebla	San Salvador el Seco	1.03
Michoacán	Quiroga	1.01
Colima	Armería	1.01
Edo. México	Melchor Ocampo	1.00
Tlaxcala	Apizaco	1.00
Tamaulipas	Aldama	1.00
Veracruz	Ixhuatlán de Madero	1.00
Hidalgo	Zimapán	0.99
Michoacán	Tuxpan	0.99

ESTADO	MUNICIPIO	TASA DE MORTALIDAD
CDMX	Benito Juárez	0.98
Jalisco	Zacoalco de Torres	0.97
Chiapas	Tapilula	0.97
Edo. México	San Martín de las Pirámides	0.97
Puebla	Zacapoaxtla	0.96
Puebla	Tetela de Ocampo	0.96
Querétaro	Jalpan de Serra	0.95
Tlaxcala	Calpulalpan	0.95
Zacatecas	Ojocaliente	0.95
Puebla	Tecamachalco	0.94
Veracruz	Martínez de la Torre	0.93
Jalisco	Chapala	0.93
Nuevo León	Allende	0.93
Jalisco	Tala	0.92
Edo. México	Aculco	0.92
Jalisco	San Miguel el Alto	0.91
Puebla	Los Reyes de Juárez	0.91
Hidalgo	Apan	0.91
Edo. México	Chiautla	0.91
Hidalgo	Huasca de Ocampo	0.90
Hidalgo	San Agustín Tlaxiaca	0.89
Veracruz	Fortín	0.89
Tlaxcala	Huamantla	0.89
Durango	Pueblo Nuevo	0.89
Jalisco	Tepatitlán de Morelos	0.89
CDMX	Miguel Hidalgo	0.89

ESTADO	MUNICIPIO	TASA DE MORTALIDAD
Tlaxcala	Tlaxco	0.88
Tabasco	Emiliano Zapata	0.88
Nayarit	San Blas	0.87
Jalisco	Cocula	0.87
Morelos	Puente de Ixtla	0.86
Michoacán	Zacapu	0.86
Edo. México	Ixtlahuaca	0.85
Morelos	Cuernavaca	0.85
Edo. México	Temoaya	0.85
Zacatecas	Guadalupe	0.84
Morelos	Tlaquiltenango	0.84
Nayarit	Tuxpan	0.84
Edo. México	Otumba	0.84
Jalisco	Jalostotitlán	0.84
Jalisco	Sayula	0.83
Veracruz	Córdoba	0.83
Puebla	Tlahuapan	0.83
Aguascalientes	Rincón de Romos	0.83
Hidalgo	Ixmiquilpan	0.83
Nayarit	Santiago Ixcuintla	0.82
Tlaxcala	Contla de Juan Cuamatzi	0.82
Oaxaca	Heroica Ciudad de Huajuapán de León	0.82
Hidalgo	Huichapan	0.82
Edo. México	Tequixquiac	0.81
Chihuahua	Camargo	0.81
Michoacán	Zinapécuaro	0.81

ESTADO	MUNICIPIO	TASA DE MORTALIDAD
San Luis Potosí	Matehuala	0.81
Morelos	Cuautla	0.81
Zacatecas	Villanueva	0.80
Michoacán	La Piedad	0.80
Durango	Canatlán	0.80
Veracruz	Misantla	0.79
Colima	Colima	0.79
Edo. México	Villa Guerrero	0.78
Edo. México	Coatepec Harinas	0.78
Hidalgo	Huejutla de Reyes	0.77
Jalisco	Encarnación de Díaz	0.77
Tlaxcala	Tetla de la Solidaridad	0.77
Veracruz	Catemaco	0.77
Nayarit	Compostela	0.77
Edo. México	Texcoco	0.76
Tabasco	Nacajuca	0.76
Jalisco	Puerto Vallarta	0.75
Chihuahua	Hidalgo del Parral	0.74
CDMX	Álvaro Obregón	0.71
Guanajuato	Romita	0.71
Guanajuato	Villagrán	0.70
Zacatecas	Loreto	0.70
Hidalgo	Tezontepec de Aldama	0.69
Puebla	Izúcar de Matamoros	0.69
CDMX	Azcapotzalco	0.69
Aguascalientes	Calvillo	0.69

ESTADO	MUNICIPIO	TASA DE MORTALIDAD
Guanajuato	San Diego de la Unión	0.68
Hidalgo	Acaxochitlán	0.68
Edo. México	Tianguistenco	0.68
Chiapas	El Bosque	0.67
Hidalgo	Actopan	0.67
Tabasco	Paraíso	0.67
Aguascalientes	El Llano	0.66
Nayarit	Tepic	0.66
Guanajuato	Dolores Hidalgo Cuna de la Independencia Nacional	0.66
Edo. México	Coyotepec	0.64
Chiapas	Ocozocoautla de Espinosa	0.64
Veracruz	Actopan	0.64
Edo. México	Valle de Bravo	0.63
Edo. México	Chicoloapan	0.63
Edo. México	Acolman	0.63
Querétaro	Corregidora	0.63
Guanajuato	Uriangato	0.62
Guerrero	Atoyac de Álvarez	0.62
Coahuila	Ramos Arizpe	0.61
San Luis Potosí	Ebano	0.61
Puebla	Tehuacán	0.61
Edo. México	Jiquipilco	0.60
Guanajuato	Abasolo	0.59
Michoacán	Hidalgo	0.58
CDMX	Coyoacán	0.58

ESTADO	MUNICIPIO	TASA DE MORTALIDAD
Tamaulipas	Ciudad Madero	0.58
Edo. México	Metepec	0.58
Baja California Sur	Comondú	0.57
Tabasco	Centla	0.57
Michoacán	Zitácuaro	0.56
CDMX	Gustavo A. Madero	0.56
Chihuahua	Chihuahua	0.56
Veracruz	Alvarado	0.56
Durango	Santiago Papasquiaro	0.55
Guanajuato	Salamanca	0.54
Hidalgo	Tizayuca	0.54
Hidalgo	Pachuca de Soto	0.54
Veracruz	Pueblo Viejo	0.54
Coahuila	Torreón	0.54
Puebla	Cuetzalan del Progreso	0.53
Edo. México	Almoloya de Juárez	0.52
Chihuahua	Cuauhtémoc	0.52
Guanajuato	Moroleón	0.52
Nuevo León	San Nicolás de los Garza	0.52
Jalisco	Ocotlán	0.52
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	0.52
Nuevo León	San Pedro Garza García	0.52
Guanajuato	Guanajuato	0.51
Baja California	Tecate	0.51
Chiapas	Acala	0.51

ESTADO	MUNICIPIO	TASA DE MORTALIDAD
Jalisco	Guadalajara	0.50
Oaxaca	Salina Cruz	0.50
Nuevo León	Montemorelos	0.49
Edo. México	Teoloyucan	0.49
Chiapas	Huixtla	0.49
CDMX	Venustiano Carranza	0.49
Veracruz	Medellín	0.49
Sinaloa	Escuinapa	0.48
CDMX	La Magdalena Contreras	0.48
Edo. México	Naucalpan de Juárez	0.48
Querétaro	Tequisquiapan	0.48
Edo. México	Tlalnepantla de Baz	0.48
Chihuahua	Delicias	0.48
Zacatecas	Zacatecas	0.48
Edo. México	Tecámac	0.48
Puebla	San Martín Texmelucan	0.48
San Luis Potosí	San Luis Potosí	0.47
Chiapas	Cintalapa	0.47
Puebla	Atlixco	0.47
Oaxaca	San Juan Bautista Tuxtepec	0.47
Yucatán	Progreso	0.46
Veracruz	Coatepec	0.46
Campeche	Hecelchakán	0.46
Baja California	Mexicali	0.46
Tamaulipas	Altamira	0.46
CDMX	Iztacalco	0.46

ESTADO	MUNICIPIO	TASA DE MORTALIDAD
Edo. México	Huixquilucan	0.46
Veracruz	Coatzacoalcos	0.45
Guerrero	Teloloapan	0.45
Veracruz	Boca del Río	0.45
CDMX	Cuauhtémoc	0.45
Guanajuato	Silao	0.44
Querétaro	Querétaro	0.44
Guanajuato	Apaseo el Alto	0.44
Puebla	San Pedro Cholula	0.44
Baja California Sur	La Paz	0.44
Zacatecas	Fresnillo	0.43
Aguascalientes	San Francisco de los Romo	0.43
Guanajuato	San Miguel de Allende	0.43
Veracruz	Xalapa	0.43
Zacatecas	Jerez	0.43
Puebla	Huauclilla	0.42
Veracruz	Pánuco	0.42
Edo. México	Ocoyoacac	0.42
Durango	Durango	0.42
Veracruz	Poza Rica de Hidalgo	0.41
Durango	Lerdo	0.41
Edo. México	Tejupilco	0.41
Tamaulipas	Victoria	0.41
Nuevo León	Guadalupe	0.41
Yucatán	Mérida	0.41

ESTADO	MUNICIPIO	TASA DE MORTALIDAD
Veracruz	Las Choapas	0.40
CDMX	Cuajimalpa de Morelos	0.40
Guerrero	Taxco de Alarcón	0.40
Edo. México	Cuautitlán Izcalli	0.40
Oaxaca	Oaxaca de Juárez	0.40
Tamaulipas	Tampico	0.40
Coahuila	Monclova	0.39
Chiapas	Escuintla	0.39
Guerrero	Chilpancingo de los Bravo	0.39
Guanajuato	Salvatierra	0.39
Edo. México	Nicolás Romero	0.39
Jalisco	Tlaquepaque	0.38
Hidalgo	Tulancingo de Bravo	0.38
Puebla	Cuautlancingo	0.38
Sinaloa	Mazatlán	0.38
Guanajuato	Valle de Santiago	0.38
Guanajuato	León	0.38
Guanajuato	Irapuato	0.37
Baja California Sur	Los Cabos	0.37
Edo. México	Coacalco de Berriozábal	0.37
Aguascalientes	Aguascalientes	0.37
Morelos	Emiliano Zapata	0.37
Veracruz	Tantoyuca	0.36
Nuevo León	Monterrey	0.36
Aguascalientes	Jesús María	0.35

ESTADO	MUNICIPIO	TASA DE MORTALIDAD
Oaxaca	Santa Cruz Xoxocotlán	0.35
Veracruz	Tuxpan	0.35
Guanajuato	San Luis de la Paz	0.34
Puebla	Puebla	0.34
Hidalgo	Tepeji del Río de Ocampo	0.34
CDMX	Iztapalapa	0.34
Edo. México	Nezahualcóyotl	0.34
Sinaloa	Culiacán	0.33
Edo. México	Otzolotepec	0.33
Edo. México	Toluca	0.33
Sonora	Cajeme	0.33
Edo. México	San Mateo Atenco	0.33
Campeche	Hopelchén	0.33
CDMX	Tlalpan	0.33
Chiapas	Mapastepec	0.33
Tamaulipas	El Mante	0.33
Edo. México	Tepotzotlán	0.33
Edo. México	Chalco	0.32
Edo. México	Ecatepec de Morelos	0.32
Durango	Gómez Palacio	0.31
Chiapas	Arriaga	0.31
Chiapas	Tenejapa	0.31
Edo. México	Atizapán de Zaragoza	0.31
Veracruz	Tihuatlán	0.31
Chiapas	Tonalá	0.31
Veracruz	San Andrés Tuxtla	0.31

ESTADO	MUNICIPIO	TASA DE MORTALIDAD
Querétaro	San Juan del Río	0.31
Sonora	Caborca	0.30
Tabasco	Centro	0.29
Guanajuato	Celaya	0.29
Baja California	Ensenada	0.29
Puebla	Amozoc	0.28
Morelos	Jiutepec	0.28
Jalisco	Zapopan	0.28
Sinaloa	Sinaloa	0.28
Coahuila	San Pedro	0.28
Baja California Sur	Mulegé	0.28
Sonora	Guaymas	0.28
CDMX	Xochimilco	0.26
Puebla	Teziutlán	0.26
Sonora	Hermosillo	0.26
Guerrero	San Marcos	0.26
Tamaulipas	Matamoros	0.26
Oaxaca	Heroica Ciudad de Juchitán de Zaragoza	0.25
Tabasco	Macuspana	0.25
Guanajuato	Pénjamo	0.25
Coahuila	Saltillo	0.25
Guerrero	Acapulco de Juárez	0.25
Sonora	San Luis Río Colorado	0.25
Veracruz	Veracruz	0.24
Sinaloa	Ahome	0.24

ESTADO	MUNICIPIO	TASA DE MORTALIDAD
Jalisco	El Salto	0.24
Veracruz	Papantla	0.24
Edo. México	Zinacantepec	0.24
Michoacán	Apatzingán	0.24
Chiapas	Villaflores	0.24
Michoacán	Lázaro Cárdenas	0.24
Campeche	Escárcega	0.23
Tamaulipas	Río Bravo	0.23
Colima	Manzanillo	0.23
Michoacán	Uruapan	0.21
Baja California	Tijuana	0.21
San Luis Potosí	Soledad de Graciano Sánchez	0.21
Sonora	Nogales	0.20
Chihuahua	Juárez	0.19
Sonora	Navojoa	0.19
Colima	Tecomán	0.19
Edo. México	Chimalhuacán	0.19
Puebla	Zacatlán	0.18
Quintana Roo	Benito Juárez	0.18
Quintana Roo	Puerto Morelos	0.18
Edo. México	Ixtapaluca	0.18
Campeche	Campeche	0.17
Edo. México	Tultepec	0.17
Campeche	Champotón	0.16
Veracruz	Minatitlán	0.16
Nuevo León	Apodaca	0.15

ESTADO	MUNICIPIO	TASA DE MORTALIDAD
Quintana Roo	Cozumel	0.14
Tabasco	Jalpa de Méndez	0.14
Sinaloa	Guasave	0.14
Tamaulipas	Nuevo Laredo	0.14
Nuevo León	Santa Catarina	0.14
Campeche	Carmen	0.14
Nuevo León	Gral. Escobedo	0.13
Tabasco	Comalcalco	0.13
Quintana Roo	Othón P. Blanco	0.13
Quintana Roo	Bacalar	0.13
Edo. México	Lerma	0.13
Tamaulipas	Reynosa	0.11
CDMX	Milpa Alta	0.11
CDMX	Tláhuac	0.11
Tabasco	Cárdenas	0.10
Chiapas	Comitán de Domínguez	0.09
Guanajuato	Cortazar	0.08
Edo. México	Tultitlán	0.08
Chiapas	Tapachula	0.08