



Universidad Autónoma del Estado de México  
Facultad de Química



*Vulnerabilidad social y territorial al cambio climático en los  
municipios de México, 2024*

Tesis para obtener el grado de Doctora en Ciencias  
Ambientales

Sustentante:

M. en E.C. Cintia Crespo Cadena

Director de tesis:

Dr. Salvador Adame Martínez

Co-directores:

Dr. Juan Campos Alanís

Dr. Alexis Ordaz Hernández

Estado de México, abril 2025.

## Índice

Resumen .....	7
Introducción.....	9
Planteamiento del problema.....	13
Justificación.....	16
Objetivos .....	18
Hipótesis.....	19
Capítulo 1. Marco Teórico Conceptual .....	20
1.1 Definición Conceptual del Cambio Climático .....	20
1.2 Efectos del cambio climático.....	30
1.2.1 Efectos del cambio climático en el medio ambiente.....	31
1.2.2 Efectos del cambio climático en la sociedad.....	50
1.2.3 Efectos del cambio climático en América Latina y el Caribe .....	70
1.2.4 Efectos del cambio climático en México.....	97
Capítulo 2. Vulnerabilidad y vulnerabilidad al cambio climático .....	138
2.1 Vulnerabilidad .....	138
2.2 Vulnerabilidad al cambio climático .....	142
2.3 Vulnerabilidad urbana al cambio climático .....	154
Capítulo 3. Marco de Referencia. Metodologías para la determinación de la vulnerabilidad ante el cambio climático .....	163
4.1 Metodologías internacionales .....	165
4.2 Metodologías para la Vulnerabilidad ante el cambio climático en México..	172
Capítulo 4. Metodología .....	196
4.1 Estimación de desastres naturales en México .....	198
4.2 Elección de fuente de datos.....	199
4.3 Estandarización de datos.....	200
4.4 Cálculo del Índice de Vulnerabilidad Social al Cambio Climático (IVSCC).	201
4.5 Correlación de IVSCC y sus variables con los criterios de .....	
....vulnerabilidad específica de los territorios frente al cambio climático	202
Capítulo 5. Resultados y di.....	206
5.1 Desastres naturales en México.....	206
5.2 Índice de Vulnerabilidad Social al Cambio Climático.....	229
5.3 Correlación del IVSCC y sus variables con los criterios de vulnerabilidad específica de los territorios al cambio climático	237
Conclusiones.....	245
Bibliografía .....	250

## Índice de Cuadros

Cuadro 1. Principales Gases de Efecto Invernadero (GEI) y su tiempo de permanencia en la atmósfera.....	27
Cuadro 2. Enfermedades infecciosas que pueden ser afectadas por el cambio climático por continente .....	53
Cuadro 3. Indicadores para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático .....	149
Cuadro 4. Impactos incrementales del cambio climático y riesgos para los habitantes y sistemas urbanos.....	160
Cuadro 5. Indicadores por componentes para el Índice de vulnerabilidad al cambio climático.....	170
Cuadro 6. Variables consideradas en la evaluación de la exposición .....	175
Cuadro 7. Variables consideradas en la evaluación de la sensibilidad. ....	176
Cuadro 8. Variables consideradas en la evaluación de la capacidad adaptativa.....	177
Cuadro 10. Número de desastres naturales relacionados al cambio climático en México por fuente y periodo de tiempo .....	206
Cuadro 11. Grado de vulnerabilidad social al cambio climático por municipio y entidad federativa, 2024 .....	235
Cuadro 12. Porcentaje y total de población por grado de vulnerabilidad social al cambio climático por municipio y entidad federativa, 2024.....	236
Cuadro 13. Rango de altitud media en msnm por municipio en México.....	238
Cuadro 14. Porcentaje de municipios costeros y del Caribe de México con grados altos y muy altos de vulnerabilidad por variables .....	238
Cuadro 15. Cálculo de coeficiente de correlación de Spearman entre variables.....	243

## Índice de Figuras

Figura 1. Relación entre escalas de tiempo y fenómenos atmosféricos.....	23
Figura 2. Porcentaje de participación de GEI de origen antropogénico .....	27
Figura 3. Porcentaje de emisiones de GEI por sector.....	28
Figura 4. Evolución de las emisiones de dióxido de carbono debido a incendios forestales entre 1997-2019. ....	35
Figura 5. Cambio en la temperatura media global anual con respecto al periodo 1850-1900. ....	44
Figura 6. Ejemplos de impactos del cambio climático en los diferentes tipos de turismo.....	59
Figura 7. Países de América Latina y distribución de la población entre las cotas 0 y 3m (en número de habitantes 2016) .....	76
Figura 8. Ocurrencia de eventos extremos relacionados con el clima y personas afectadas en América Latina y el Caribe según el tipo de evento en diferentes periodos.....	80
Figura 9. Incidencia de olas de calor severas y población afectada en ciudades de América Latina y el Caribe en los periodos 1981-1990 y 2011-2020. ....	82
Figura 10. Impactos del cambio climático esperados para 2050.....	83
Figura 9. Inseguridad alimentaria moderada o severa y desnutrición en el mundo, América Latina y el Caribe y sus subregiones en 2021 .....	93
Figura 12. Contexto del acceso a agua potable y saneamiento en América Latina y el Caribe .....	95
Figura 13. Cambios en la biodiversidad en México derivados del cambio climático .....	98
Figura 14. Número de incendios y superficie afectada, 1998-2018.....	100
Figura 15. Superficie terrestre afectada más vulnerable en escenarios de cambio climático a 1 y 2 m. de aumento del nivel del mar. ....	105
Figura 16. Muestra de las tendencias de °C por siglo de la temperatura media anual para México en el periodo 1979-2021.....	112
Figura 17. Ciclones tropicales que han impactado México 1970-2017. ....	114
Figura 18. Gasto total por tipo de declaratoria de desastre 1999-2017.....	116
Figura 19. Número de declaratorias por desastres relacionados con el clima (1999-2017) y gasto del FONDEN en millones de dólares por estos desastres.....	116
Figura 20. Principales impactos del cambio climático en el sector turístico .....	123
Figura 21. Formas del cambio climático actuales y futuras, así como sus potenciales impactos sectoriales y algunas propuestas de adaptación sugeridas por la ciencia actual. ....	130
Figura 22. Composición de la vulnerabilidad al cambio climático.....	144
Figura 23. Análisis de la vulnerabilidad al cambio climático .....	152
Figura 24. Índice de Cambio Climático en América Latina .....	165
Figura 25. Índice de vulnerabilidad al cambio climático 2014 de ALC.....	168
Figura 26. Índice de Vulnerabilidad al Cambio climático en Panamá.....	170

Figura 27. Criterios para identificar la vulnerabilidad del territorio ante el cambio climático.....	171
Figura 28. Grado de vulnerabilidad al cambio climático .....	174
Figura 29. Grado de exposición climática por municipio .....	176
Figura 30. Grado de sensibilidad climática por municipio .....	177
Figura 31. Grado de capacidad adaptativa por municipio .....	178
Figura 32. Grado de vulnerabilidad al cambio climático por municipio.....	179
Figura 33. Estructura del IVC y variables que lo componen.....	181
Figura 34. Índice de vulnerabilidad al cambio climático predictivo para 2045 .....	187
Figura 35. Vulnerabilidades identificadas en la primera fase del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático .....	189
Figura 36. Configuración de Índice de vulnerabilidad de los asentamientos humanos por inundaciones .....	190
Figura 37. Vulnerabilidad de los asentamientos humanos por inundaciones.....	191
Figura 38. Vulnerabilidad de los asentamientos humanos por deslaves.....	192
Figura 39. Vulnerabilidad de los asentamientos humanos por deslaves.....	193
Figura 40. Composición de índice de vulnerabilidad al incremento en la distribución potencial del dengue .....	194
Figura 41. Vulnerabilidad de la población al incremento en la distribución potencial del dengue .....	195
Figura 42. Esquema metodológico.....	197
Figura 43. Criterios para identificar la vulnerabilidad del territorio ante el cambio climático.....	202
Cuadro 9. Indicadores elegidos por criterio de vulnerabilidad territorial ante el cambio climático.....	203
Figura 44. Desastres relacionados al cambio climático por año y fuente en México.....	207
Figura 45. Homologación de datos de desastres relacionados al cambio climático en México 2003-2023.....	208
Figura 46. Desastres relacionados al cambio climático ocurridos en México 2003-2023.....	210
Figura 47. Desastres relacionados al cambio climático por tipo en México 2003-2023.....	210
Figura 48. Desastres naturales relacionados al cambio climático en México por entidad federativa 2003-2023.....	211
Figura 49. Tendencia de total de desastres relacionados al cambio climático y población afectada en México, 2000-2015 .....	213
Figura 50. Desastres naturales relacionados al cambio climático y defunciones en México, 2000-2015.....	214
Figura 51. Desastres naturales relacionados al cambio climático y viviendas dañadas en México, 2000-2015 .....	214
Figura 52. Desastres naturales relacionados al cambio climático y total de daños en millones de dólares en México, 2000-2015 .....	215
Figura 53. Desastres por lluvias severas en México, 2003-2023 .....	216
Figura 54. Total de desastres por lluvias severas, defunciones y daños en millones de dólares en México, 2000-2015 .....	217

Figura 55. Desastres por ciclones tropicales en México por año, 2003-2018 .....	218
Figura 56. Total de desastres por ciclones tropicales, defunciones y daños en millones de dólares en México, 2000-2015 .....	220
Figura 57. Desastres por inundaciones en México 2003-2023 .....	221
Figura 58. Desastres por inundaciones, defunciones y total de daños en millones de dólares, México 2000-2015 .....	223
Figura 59. Desastres por inundaciones, población afectada y viviendas dañadas, México 2000-2015 .....	223
Figura 60. Desastres por sequías en México, 2003-2023 .....	224
Figura 61. Desastres por sequías en México, 2000-2015 .....	225
Figura 62. Población afectada y total de daños en millones de dólares causados por desastres por sequías en México, 2000-2015 .....	225
Figura 63. Desastres por deslaves por agua en México 1900-2024 .....	226
Figura 64. Desastres por deslaves, defunciones y viviendas dañadas en México, 2002-2015 .....	228
Figura 65. Población afectada y total de daños en millones de dólares por deslaves en México, 2002-2015 .....	228
Figura 66. Municipios por grado de vulnerabilidad a deslaves, 2024. ....	231

## Índice de Mapas

Mapa 1. Índice de Aridez para el periodo 2071-2100 .....	43
Mapa 2. Subíndice de exposición a inundaciones litorales de origen marino proyectado de los municipios costeros de México .....	104
Mapa 3. Distribución de las tierras secas en México.....	107
Mapa 4. Procesos de degradación del suelo en tierras secas de México .....	108
Mapa 5. Ocurrencia de sequías excepcionales en el periodo 2003-2020. ....	109
Mapa 6. Riesgo municipal por lluvias y ciclones tropicales. ....	115
Mapa 7. Superficie ganadera en México por entidad federativa.....	129
Mapa 8. Desastres naturales relacionados al cambio climático en México por municipio, 2003-2023.....	212
Mapa 9. Desastres por lluvias severas por municipio en México, 2003-2023 .....	216
Mapa 10. Desastres por ciclones tropicales por municipio en México, 2003-2023 .....	219
Mapa 11. Desastres por inundaciones por municipio en México 2003-2023.....	222
Mapa 12. Desastres por sequías por municipio en México, 2003-2023.....	224
Mapa 13. Desastres por deslaves por municipio en México 2003-2023 .....	227
Mapa 14. Grado de vulnerabilidad de la población al incremento en distribución de dengue por municipio, 2023. ....	230
Mapa 15. Grado de vulnerabilidad de los asentamientos humanos a deslaves por municipio en México, 2023.....	231
Mapa 16. Grado de vulnerabilidad de los asentamientos humanos a inundaciones por municipio en México, 2023.....	232
Mapa 17. Grado de vulnerabilidad social al cambio climático por municipio en México, 2024.....	234
Mapa 18. Distribución territorial de Atlas de Riesgos Municipal en México, 2024. ....	239
Mapa 19. Tasa de camas censables públicas y privadas por cada 1 mil habitantes por municipio, 2023.....	240
Mapa 20. Porcentaje de población con bajo o muy bajo acceso a carreteras pavimentadas por municipio, 2020.....	241
Mapa 21. Grado de marginación por municipio, 2020.....	242

## Resumen

Esta investigación analiza los desastres naturales relacionados con el cambio climático ocurridos en el periodo 2003-2023 y los datos de daños provocados por los mismos de 2000-2015, con la finalidad de identificar patrones, tendencias e intensidad. Además, se calcula un Índice de Vulnerabilidad Social al Cambio Climático (IVSCC) a partir de los índices y datos obtenidos en el Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (AVCC) realizado por el INECC (2019), para posteriormente analizar la relación de cada uno de estos con las diferentes variables de vulnerabilidad del territorio ante el cambio climático propuestas por Novillo (2018).

La metodología usada contempló: a) recolección de datos y registros históricos de diversas bases de datos sobre los desastres naturales ocurridos en México, b) elección de la fuente de datos de acuerdo con la periodicidad, actualidad y confianza de los datos, c) procesamiento de los datos mediante el uso de software Microsoft Excel, SPSS y ArcMap, d) cálculo del Índice Social de Vulnerabilidad al Cambio Climático (IVSCC), e) cálculo de correlación estadística entre el IVSCC, así como cada uno de los índices que lo componen con las variables de vulnerabilidad territorial propuestas por Novillo (2018).

Entre los resultados se puede encontrar la variación en las frecuencias de los desastres naturales relacionados con el cambio climático en México, donde la ocurrencia de desastres por inundaciones y sequías se está incrementando, los ciclones tropicales están disminuyendo en número, en tanto los desastres por lluvias severas como por deslaves se están manteniendo prácticamente iguales. Sin embargo, se observa que se está incrementando la intensidad de todos estos fenómenos exceptuando las lluvias severas. Esto basado en el análisis de los daños provocados por los mismos: defunciones, cantidad de población y viviendas afectadas.

Además, en el análisis de la vulnerabilidad social al cambio climático se tiene como hallazgo que Oaxaca es la entidad federativa con mayor vulnerabilidad en el país, seguida por Veracruz, Chiapas y Guerrero.

Finalmente, en el análisis de las variables de vulnerabilidad territorial, el IVSCC y los índices que lo componen se encontró que la tasa de camas censables por cada 1 mil habitantes no se correlaciona con ningún grado de vulnerabilidad, el grado de bajo o muy bajo de acceso a carreteras pavimentadas tiene una ligera correlación estadística con los diversos grados de vulnerabilidad, siendo con los deslaves su mayor correlación. Paralelamente, el grado de marginación tiene una ligera correlación con el aumento del dengue y los deslaves, mayor con las inundaciones y nulo con el IVSCC. Por lo que se demuestra que las variables aisladas no siempre se comportan de la manera esperada en la literatura existente al correlacionarse con los diversos índices de vulnerabilidad al cambio climático.

## Introducción

El clima es un conjunto de características que precisan el estado más frecuente de la atmósfera y distribución de los fenómenos meteorológicos (Linés, 2010), y se caracteriza por los estados y evoluciones del tiempo meteorológico en un periodo largo de tiempo y en un espacio concreto (Del Valle, 2014; Linés, 2010; IDEAM-UNAL, 2018). Se encuentra determinado por la masa total del planeta, su distancia con respecto al sol y la composición de la atmósfera. Su variabilidad depende de tres factores principales: variaciones en la concentración de gases de efecto invernadero, actividad solar y volcánica. De igual forma, presenta de manera natural fluctuaciones cíclicas anuales y de mayor periodicidad, así como variaciones debido a fenómenos naturales (González y otros, 2003).

La variabilidad y fluctuación de las variables climáticas son una característica principal del sistema climático. Sin embargo, cuando existe un cambio significativo en la media de la temperatura u otra variable climática o un cambio estructural, se puede considerar la existencia de un cambio climático, el cual puede describirse como la variación significativa y clara entre periodos de tiempo dilatados de una década o superiores, ya sea en la tendencia central y/o de dispersión de al menos una variable climática en el conjunto del planeta o visibles en por lo menos un ámbito continental (Vide, 2009).

Por tanto, el cambio climático es la alteración del clima con respecto a su historial a escala regional o global con variaciones, durante largos periodos de tiempo, en parámetros climáticos como precipitaciones, temperatura, nubosidad, intensidad de vientos, rutas de tormentas y patrones meteorológicos, que pueden deberse a procesos internos naturales o forzamientos externos como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropogénicos en la atmósfera o uso del suelo (IPCC, 2014; Díaz, 2012; SEDESOL, 2012).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) atribuye este fenómeno a actividades antropogénicas que modifican la

composición de la atmósfera mundial, principalmente a través de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivadas del uso y quema de combustibles fósiles, así como a la pérdida de la cobertura vegetal (Del Valle, 2014; ONU, 1992; Samaniego, 2009; Díaz, 2012; Greenpeace y Ojea, 2018; Nájera y otros., 2023). Existe 95% de certeza científica de que el calentamiento observado desde mediados del siglo XX es una de sus principales consecuencias (PNUMA y Parlatino, 2015).

El cambio climático y sus afectaciones en todas las regiones habitadas del mundo son irrefutables, con una indiscutible influencia humana en el calentamiento global y sus efectos en fenómenos meteorológicos y climáticos extremos (Servicio de Evaluación Ambiental, 2023). Este fenómeno puede considerarse como la mayor amenaza actual debido a sus múltiples consecuencias y cambios en las probabilidades de impactos diversos (PNUMA, 2010). Un ejemplo de esto es el aumento de eventos climatológicos extremos tanto en constancia como en severidad en las últimas dos décadas, lo que implica un aumento en las pérdidas tanto económicas como sociales (Gutiérrez y Reyes, 2024). Los riesgos futuros dependerán del ritmo, pico y duración del calentamiento global (IPCC, 2019).

Los efectos del cambio climático pueden dividirse en ambientales, como los impactos en la biodiversidad, deshielo, incendios, aumento del nivel del mar, desertificación, aumento de temperaturas y cambios en patrones meteorológicos extremos. Y sociales, como los impactos en la salud, energía, turismo, agricultura, ganadería, pesca, alimentación y calidad del aire (Greenpeace y Ojea, 2018).

De acuerdo con la CMNUCC, se consideran vulnerables al cambio climático las áreas costeras bajas, zonas áridas y semiáridas, zonas con cobertura forestal expuestas a su deterioro, zonas propensas a sequía y desertificación, zonas propensas a desastres naturales, zonas urbanas con contaminación atmosférica y ecosistemas frágiles como zonas de montañas (Servicio de Evaluación Ambiental, 2023).

De manera tradicional, el cambio climático se ha estudiado desde una perspectiva donde la mayor importancia está dada al grado de los efectos del cambio climático y sus consecuencias; el grado y ritmo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI); y sus efectos en el calentamiento global y proyecciones de sus impactos a partir de diferentes escenarios y modelos, entre otras (Del Valle, 2014). Sin embargo, a pesar de la existencia de trabajos que relacionan los efectos del cambio climático con los asentamientos humanos, es necesario impulsar esta línea de investigación, debido a que ésta permitirá generar medidas tanto a corto como mediano plazo para prevenir y paliar los efectos negativos, así como disminuir la vulnerabilidad social al cambio climático de los mismos.

Además, es importante realizar estudios en los que se pueda apreciar la distribución espacial de los efectos del cambio climático, así como de la vulnerabilidad resultante de estos. Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo analizar y modelar la vulnerabilidad social al cambio climático en los 2 mil 469 municipios de México, a partir de los índices calculados por el INECC para el Atlas Nacional de vulnerabilidad al cambio climático (INECC, 2019) y determinar si existe una asociación entre éste y las variables de la vulnerabilidad del territorio ante el cambio climático identificados por Novillo (2018).

Ello porque, por un lado, los fenómenos climáticos no se circunscriben a los límites político-administrativos de ningún país (localidades, municipios, estados o zonas metropolitanas), pero si afectan regiones, países, continentes o el mundo entero. Por otro lado, es un hecho de que la mayor parte de las personas de nuestro país, y del resto del mundo, se aglomeran en las ciudades. De ahí la relevancia de estudiar la vulnerabilidad de los asentamientos humanos, al menos en el conjunto de México, y no solo de alguna ciudad en lo particular. Generar estudios regionales y sectoriales con respecto a los posibles efectos del cambio climático permitirán identificar las posibles respuestas sociales y económicas (Conde, 2007).

Para lograrlo, el presente trabajo cuenta con cinco apartados introductorios los cuales son: un resumen que sintetiza de manera general la investigación; introducción que presenta la estructura del trabajo; planteamiento del problema, que da un contexto general; justificación que muestra la pertinencia del presente estudio; objetivos, y las hipótesis que exponen los alcances, así como el propósito de la investigación.

Posteriormente se enumeran cinco capítulos, donde los primeros dos corresponden al Marco Teórico Conceptual del cambio climático, sus efectos generales, los efectos del cambio climático en América Latina y el Caribe y en México, así como las teorías y conceptos relacionados a la vulnerabilidad, vulnerabilidad al cambio climático y vulnerabilidad urbana. Estos establecen y describen las teorías y conceptos existentes para el entendimiento del cambio climático y la vulnerabilidad. En el tercer capítulo se presenta el Marco Referencial de la investigación, que incluye los antecedentes metodológicos nacionales e internacionales del estudio de la vulnerabilidad al cambio climático. El capítulo cuatro describe la metodología empleada en la investigación, etapas implementadas, bases de datos y programas utilizados para su estandarización y análisis. El capítulo cinco es de Resultados y Discusión, en el cual se describen los hallazgos del presente trabajo seguido por las Conclusiones. Se finaliza con el apartado de bibliografía y anexos, en el cual se incorporan las evidencias de la producción científica mediante artículos derivados de la presente investigación.

## **Planteamiento del problema**

A pesar de la existencia de opiniones controversiales a la denominación del cambio climático, las cuales enuncian la presencia en el pasado de valores superiores de cambio de temperatura y concentración de gases de efecto invernadero a los prevalecientes en la actualidad (Álvarez, 2010; 27), existe cierto consenso alrededor de que el cambio climático es un fenómeno progresivo que afecta a todas las áreas del planeta.

Por ello, es frecuente encontrar estudios que analizan el cambio climático desde diferentes disciplinas, principalmente desde la química, biología y geografía. Sin embargo, no es común encontrar muchos trabajos que profundicen en los diferentes efectos del cambio climático de manera independiente, su evolución, intensidad e impactos sociales.

En ese tenor, es importante tomar en cuenta los diversos escenarios que pueden estar presentes en el cambio climático, así como las posibles afectaciones en diversas áreas como son: efectos en la salud de las personas, daños a la infraestructura urbana y pérdidas tanto económicas como humanas, etc. De ahí que sea trascendente analizar los impactos de los fenómenos extremos relacionados al cambio climático como las sequías, inundaciones, lluvias intensas, ciclones tropicales, deslaves e incendios forestales, entre otros (IPCC, 2014: 56).

En el caso de México, si bien existe, por parte del gobierno de la República una “Estrategia Nacional de Cambio Climático” (SEMARNAT, 2013) y el “Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018” (DOF, 28-04-2014) en donde se muestran distintos diagnósticos y posibles escenarios, así como el Atlas de Vulnerabilidad ante el Cambio Climático (INECC, 2019) que desagrega y analiza cinco vulnerabilidades específicas ante este fenómeno a nivel municipal, no se analizan en estos la evolución del impacto de los fenómenos extremos relacionados al cambio climático.

Además, de acuerdo con Novillo (2018), es importante identificar los tres criterios generales de la vulnerabilidad específica de los territorios frente a los efectos del cambio climático a partir de a) tamaño de los asentamientos humanos, b) distribución geográfica y situación ecosistémica y c) vulnerabilidad social, debido a que estos permiten relacionar la vulnerabilidad al cambio climático con las características particulares de los territorios, por lo que se pueden espacializar y focalizar las diferentes medidas tanto de prevención como de contención, la generación de programas gubernamentales y formar un punto de partida para análisis académicos y toma de decisiones.

De ahí que sea de suma importancia, dado que México es un país considerado como megadiverso, con características topográficas, ecosistémicas y sociales muy diferentes, generar un Índice de Vulnerabilidad Social al Cambio Climático y analizar la existencia o falta de correlación con respecto a los criterios de vulnerabilidad específica de los territorios frente al cambio climático.

En suma, este trabajo se basa en el supuesto de la existencia del cambio climático y pretende analizar las condiciones actuales de los municipios de México frente a los efectos del cambio climático, así como examinar a partir de los diversos escenarios sus posibles impactos. Para lograrlo, en una primera fase se analizarán las declaratorias municipales de desastres naturales de fenómenos relacionados al cambio climático por la literatura previamente estudiada, para el periodo 2003-2023, así como el comportamiento de las tendencias de cada uno de estos (BADESNIARN, 2024). Además, a partir de los datos de daños totales en millones de dólares, población afectada, defunciones y viviendas dañadas para el periodo 2000-2015, se analizan las tendencias presentadas con la finalidad de constatar las modificaciones presentadas en la intensidad de dichos fenómenos (CENAPRED, 2017).

También, se calcula un Índice de Vulnerabilidad Social al Cambio Climático (IVSCC), a partir de los resultados del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático

(ANVCC). Además de ello se recurrió al análisis espacial y su correlación, utilizando las variables de vulnerabilidad territorial al cambio climático propuestas por Novillo (2018) de tal modo que pueda comprobarse o no su relación con los niveles de vulnerabilidad social a fin de poder ensayar una teorización acerca de los escenarios que enfrentarían los municipios de México en los próximos años.

## **Justificación**

En las últimas décadas, el clima global ha sufrido un cambio sustancial. Por un lado, se debe a fenómenos naturales y, por el otro, a eventos antropogénicos como la contaminación y la sobreexplotación de los recursos naturales. Derivado de ello se han mostrado diversos efectos negativos causados por el cambio climático, como la modificación de los ecosistemas tanto naturales como humanos, el aumento de la temperatura global (calentamiento global) e incremento y variaciones tanto en la frecuencia como en la magnitud de los desastres naturales.

A su vez, el análisis del cambio climático se caracteriza, por un lado, por estudios globales descriptivos, los cuales analizan las causas y consecuencias de este fenómeno, la adaptación, vulnerabilidad y su impacto social, y, por otro lado, análisis interpretativos sobre la dimensión tanto social como humana del mismo (Oltra, Solá, Sala, Paredes y Gamero, 2009: 3).

De igual forma, México, es y será muy vulnerable al cambio climático (Conde, 2007; 30), principalmente debido a que, por su ubicación y sus condiciones geográficas y orográficas, este país se encuentra más expuesto a los fenómenos hidrometeorológicos extremos, de manera particular en las zonas costeras, áreas inundables y laderas (Zamora, 2015: 4).

Por tanto, existe la necesidad de tener una visión general y global de los efectos del cambio climático en el territorio nacional, a la par que se desarrollen estudios que profundicen en cada uno de los aspectos e impactos de este en el país y su distribución geográfica particular. Esto permitirá el análisis de la relación entre estos, de tal manera que se desarrollen medidas más eficientes, pertinentes y focalizadas

En este sentido, el presente trabajo tiene como contribución fundamental el estudio histórico de los desastres naturales relacionados con el cambio climático y el análisis de su tendencia en cuanto a frecuencia e intensidad. Así como el cálculo de un Índice derivado de los resultados obtenidos por el Atlas Nacional de

Vulnerabilidad al Cambio Climático (2018) y sus variables cuyo objeto vulnerable es la población y los asentamientos humanos. Finalmente se analiza la relación de la vulnerabilidad social al cambio climático y las variables de vulnerabilidad territorial al cambio climático propuestas por Novillo (2018).

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Analizar la vulnerabilidad social y territorial al cambio climático a nivel municipal en México a partir del estudio de la frecuencia de declaratorias de desastre relacionadas con este fenómeno en el país para el periodo 1970-2023, la creación de un Índice de Vulnerabilidad Social al Cambio Climático y el análisis de su relación con los criterios de vulnerabilidad territorial al cambio climático.

### **Objetivos Específicos**

- Generar un marco teórico conceptual que abarque los principales planteamientos científicos con respecto al cambio climático, sus efectos y la vulnerabilidad al cambio climático.
- Elaborar un marco de referencia a partir de las metodologías tanto internacionales como nacionales para el estudio y evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático.
- Diseñar una metodología pertinente para el análisis de la vulnerabilidad social y territorial al cambio climático.
- Evaluar los impactos sociales de los fenómenos extremos relacionados con el cambio climático en los municipios del país a partir de los registros de declaratorias de desastres naturales en México y la estimación de daños provocados por estos.
- Generar un índice de Vulnerabilidad Social al Cambio Climático a nivel municipal en México a partir de los resultados del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático calculado por el INECC (2018).
- Establecer la relación existente entre el Índice de Vulnerabilidad Social y Territorial al Cambio Climático y sus variables con respecto a las variables de vulnerabilidad territorial al cambio climático propuestas por Novillo (2018).

## **Hipótesis**

La vulnerabilidad social y territorial al cambio climático a nivel municipal en México sigue patrones específicos que se relacionan con características territoriales particulares. Además de que los fenómenos extremos relacionados con el cambio climático se están presentando con menor frecuencia, pero con mayor intensidad en el territorio nacional.

## **Capítulo 1. Marco Teórico Conceptual**

El cambio climático es un fenómeno global atribuible tanto de manera directa como indirecta a actividades antropogénicas y que conlleva la interacción de factores sociales, económicos, políticos y naturales, afectando los sistemas sociales y naturales, y generando vulnerabilidad en diversas regiones y sectores. Este capítulo se enfoca en la definición del cambio climático, sus causas, evolución y efectos.

### **1.1 Definición Conceptual del Cambio Climático**

Uno de los primeros puntos de confusión es la distinción entre tiempo y clima. El tiempo meteorológico hace referencia a las condiciones atmosféricas actuales, e incluye variables como la temperatura, humedad, lluvia, nubosidad, visibilidad y viento, así como fenómenos meteorológicos tales como torbellinos, tornados, brisas marinas, huracanes, ondas de latitudes medias y ondas tropicales. Y hace referencia a un intervalo que va desde minutos hasta un par de días (Torres, 2019, 2-3; Nahón, 2011: 12; IDEAM-UNAL, 2018: 10).

El clima, por otro lado, se define como un conjunto de características que precisan el estado más frecuente de la atmósfera y distribución de los fenómenos meteorológicos, es decir, un conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas que se caracterizan por los estados y evoluciones del tiempo meteorológico en un periodo largo de tiempo de 30 años o más y en un espacio determinado (Del Valle, 2014: 2; Linés, 2010: 1; IDEAM-UNAL, 2018:10; INECC, 2022: 14; Torres, 2019: 3). En este sentido, se puede aseverar que el clima regula la distribución de las condiciones meteorológicas y los fenómenos atmosféricos extremos, (como tornados, granizo, huracanes, tormentas eléctricas) y es el motivo por el cual estos se presenten de manera más frecuentes en ciertas regiones y épocas del año (IDEAM-UNAL, 2018: 10). Por ende, las características geofísicas condicionan el clima de cada lugar como por ejemplo la latitud, altitud, continentalidad, orientación, naturaleza del suelo, vegetación (Linés, 2010: 2), orografía, corrientes marinas y circulación predominante de los vientos (Sánchez, 2013: 27).

A su vez, existen dos factores que generan modificaciones en el clima. Sin embargo, requieren diversas consideraciones, la primera es que, debido a que el clima es el estado medio de un conjunto de eventos en un periodo largo de tiempo, su modificación dependerá de las fuerzas que modifican el tiempo. Y la segunda, sería las variaciones en escalas de décadas influenciados por el estado de los océanos, la composición y estado de la atmósfera y los elementos en la tierra, así como la radiación que entra y sale de la atmósfera también denominada forzamiento radiativo (Torres, 2019: 9). Así pues, los factores que modifican al clima pueden ser tanto externos como internos al sistema climático. Entre los factores externos se encuentra la variabilidad solar, el efecto astronómico de la órbita terrestre y la actividad volcánica, mientras que los factores internos incluyen la variabilidad dentro de la atmósfera, el océano y sus circuitos de retroalimentación. (Barry y Chorley, 1999: 464).

Dicho esto, el sistema climático está compuesto por cinco subsistemas que interactúan a partir de intercambios de energía y materia, estos son: atmósfera, hidrósfera, litósfera, biósfera, y criosfera (Vide, 2009: 52; García, 2009: 12; INECC: 2022: 13). La relación entre dichos subsistemas afecta la dinámica climática global (García, 2009: 12-17; Pérez, 2017:201-202).

Una de las características principales del sistema climático es que las variables climáticas que lo conforman se encuentran en continua fluctuación, por lo que existen variaciones en el estado promedio del clima, a lo cual se le denomina variabilidad climática (Nahón, 2011: 13). Las fases extremas de dicha variabilidad producen impactos socioeconómicos en los territorios y sectores productivos, y en algunos casos alcanzan la magnitud de desastre (IDEAM-UNAL, 2018: 9).

Las fluctuaciones y anomalías climáticas de las que se deriva la variabilidad pueden ocurrir en distintas escalas espacio-tiempo. Algunas de estas fluctuaciones se presentan a través del tiempo como meses, años, siglos o milenios en formas de ciclos. Por ejemplo, la variabilidad intraestacional es aquella que se presenta año

con año (IDEAM-UNAL, 2018: 9,14). Otros autores introducen en esta clasificación los fenómenos atmosféricos con duración mayor a un mes y menor a un año como por ejemplo los monzones (fenómenos de entre tres y cinco meses que marcan la temporada de lluvias en las zonas tropicales) (Torres, 2019).

La variabilidad interanual son las fluctuaciones con ciclos mayores a un año. Dentro de este tipo de variabilidad se encuentran los fenómenos de El Niño (aguas más cálidas que lo normal en el Pacífico tropical) y La Niña (aguas más frías de lo normal en el Pacífico tropical) también conocidos como la Oscilación del Sur, con periodos de casi dos años. Estos fenómenos alteran la circulación en la atmósfera tropical e inducen anomalías climáticas a diferentes regiones del planeta (IDEAM-UNAL, 2018:15).

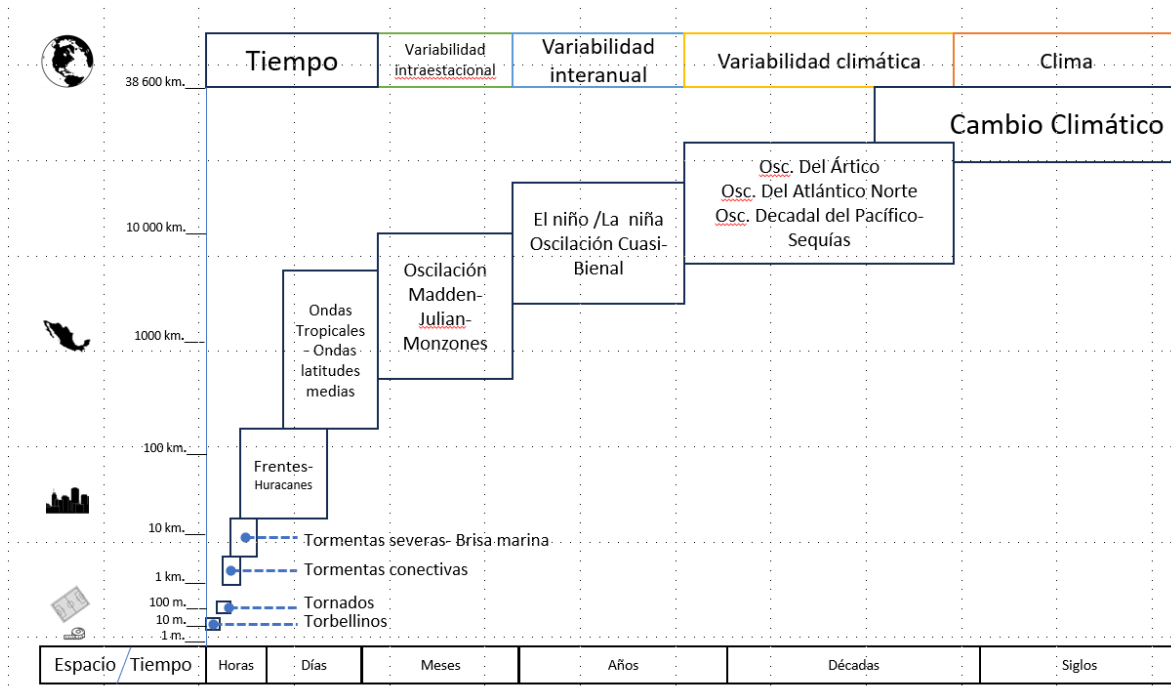
Además, la variabilidad interdecadal, es la variabilidad expresada en ciclos con periodos de más de diez años, y se encuentra asociada a fluctuaciones en los ciclos en el número de manchas solares, oscilaciones decadales en el océano como la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) o al ciclo lunar de 18.6 años (IDEAM-UNAL, 2018: 16). Algunos autores denominan a la variabilidad interdecadal dentro de la variabilidad climática (Torres, 2019: 6).

En la Figura 1, se observan de manera gráfica algunos fenómenos atmosféricos que se presentan en diversas escalas de tiempo y espacio que van categorizados desde tiempo atmosférico hasta clima, así como las diferentes escalas de variabilidad climática hasta cambio climático.

La variabilidad y la fluctuación de las variables climáticas son una característica principal del sistema climático. Sin embargo, cuando existe un cambio significativo en la media de la temperatura u otra variable climática o un cambio estructural, se puede considerar la existencia de un cambio climático. Esto puede describirse como una variación significativa y clara entre periodos de tiempo dilatados de una década o superiores ya sea en la tendencia central y/o de dispersión de al menos una variable climática en el conjunto del planeta o visibles en por lo menos un ámbito

continental (Vide, 2009; 52-55). Otros autores asumen que un cambio climático se da con los cambios a largo plazo llámense siglos, milenios, etc como por ejemplo cambios en periodos glacial-interglaciares (IDEAM-UNAL, 2018: 16).

**Figura 1. Relación entre escalas de tiempo y fenómenos atmosféricos**



Fuente: Retomado de Torres, 2019: 6.

Por tanto, el término cambio climático hace referencia a la modificación del clima respecto su historial a una escala global o regional con efectos en los diversos parámetros climáticos como temperatura, precipitación, nubosidad, intensidad de vientos, intensidad y rutas de tormentas y cambios en los patrones meteorológicos entre otros (INE, 2008: 12; Díaz, 2012: 229 y SEDESOL, 2012: 15), donde las tendencias pueden ser en crecimiento o decrecimiento (Nahón, 2013:13). El concepto del cambio climático se relaciona con el calentamiento global y causas de origen antropogénico (Batista, 2014; 14), las cuales se encuentran estrechamente ligadas a actividades económicas (Galindo y Samaniego, 2010: 94), mismas que

originan modificaciones en los forzamientos radiactivos derivados de las emisiones del  $CO_2$  y  $CH_4$  en la atmósfera (Torres, 2019:9)

Actualmente se pueden observar dos posturas principales respecto al cambio climático. La primera menciona que es un proceso natural producido a lo largo de la historia por eventos naturales, los cuales han ido desde etapas glaciares hasta eventos cálidos (Barboza, 2013: 37). Estas variaciones climáticas pueden ser producidas tanto por fenómenos internos (Tierra-atmósfera) como por forzamientos externos (Staines, 2007: 345-346). La segunda postura, y la más aceptada en el ámbito institucional y científico, menciona que el cambio climático se atribuye de manera directa o indirecta a las actividades antropogénicas, las cuales modifican la composición de la atmósfera mundial y por lo tanto se suman a la variabilidad climática natural, como lo menciona la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), (Del Valle, 2014; ONU, 1992; Samaniego, 2009; Díaz, 2012). De igual forma, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) (IPCC, 2014b: 5) lo define como variaciones identificables en el estado del clima, durante periodos largos de tiempo y que pueden deberse a procesos internos naturales o forzamientos externos como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropogénicos en la atmósfera o el uso del suelo.

En el caso de México la Ley General de Cambio Climático lo define como *“la variación del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos comparables”* (SEDESOL, 2012:15). Por tanto, podemos hablar de un cambio climático natural (variabilidad climática natural) y un cambio climático artificial (derivado de causas antropogénicas) (Linés, 2010:4).

La Tierra, de manera natural, absorbe radiación solar (de onda corta) y posteriormente la redistribuye a través de circulaciones atmosféricas y oceánicas como medida compensatoria a los contrastes térmicos. Dicha energía recibida es

re-emitada al espacio (radiaciones de onda larga). Por consecuencia, cualquier proceso que modifique el balance entre las radiaciones de onda corta y larga creará cambios en el clima, los cuales son conocidos como forzamientos radiativos. En caso de ser positivos generan un calentamiento de la superficie terrestre, y, de manera negativa, producen un enfriamiento (Magaña, 2004).

Por un lado, entre los factores naturales que modifican el clima se encuentran: las variaciones en la cantidad de energía solar debido a la relación entre luminosidad solar y temperatura, los cambios en la geometría de la órbita de la Tierra alrededor del Sol (ciclos Millankovich) , el proceso del efecto invernadero, cambios en el tipo y cantidad de aerosoles en la atmósfera (partículas y gotas que se mantienen en suspensión en un gas por largos periodos) (Staines, 2007: 246), cambios en el desnivel del mar, los efectos de las nubes, el hielo polar, cambios de reflexión terrestres, cambios en el campo magnético exterior, cambios, cantidad de cobertura de las nubes y la cantidad de energía solar que alcanza la Tierra (Díaz, 2012).

Por otro lado, entre los factores antropogénicos se encuentran: el incremento en la concentración de gases de efecto invernadero, los cambios en el uso del suelo, la emisión de aerosoles empleados principalmente en la industria y la agricultura (Staines, 2007: 347), contaminación del aire, aumento de emisiones de dióxido de carbono, gas metano e hidratos de metano (Díaz, 2012: 231). Así pues, la Cumbre de Poznan, Polonia 2008, reconoció que el cambio climático se debe principalmente al aumento de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) producidos por el uso de combustibles fósiles (Díaz, 2012: 231). Actualmente, se tiene un 95% de certeza científica al respecto, al mismo tiempo que se plantea que el calentamiento observado desde mediados del siglo XX es una de sus principales consecuencias (PNUMA/Paralantino, 2015:11).

El efecto invernadero es un proceso natural por el cual ciertos gases en la atmósfera, como el CO<sub>2</sub> y el CH<sub>4</sub>, atrapan el calor, y acumulan naturalmente la energía térmica recibida del sol, manteniendo la temperatura de la Tierra en niveles

adecuados para la vida. La función del efecto invernadero es actuar como mecanismo de regulación de los componentes de la radiación solar (ultravioleta, infrarroja, visible) por lo que refleja, filtra, selecciona y difunde dichos gases. Sin embargo, la actividad humana ha incrementado significativamente la concentración de estos gases desde la Revolución Industrial, lo que ha provocado un calentamiento global y cambios en los patrones climáticos (Verdaguer, 2013. 7-8; Salinas y otros., 2015:43; Renual-Villaseñor, 2001: 422).

En este sentido, son considerados como GEI aquellos gases que, en la atmósfera, absorben radiaciones infrarrojas como son: el vapor de agua, dióxido de carbono metano ( $CO_2$ ), metano ( $CH_4$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ), halocarbonos, ozono ( $O_3$ ), hidrofluorocarbonos, cloro-fluoro-carbonos (CFCs) etc. En condiciones normales, estos gases ayudan a mantener la temperatura promedio de la Tierra en alrededor de  $14^{\circ}C$ . Sin embargo, el aumento en las concentraciones de estos gases, principalmente debido a la quema de combustibles fósiles y la deforestación, ha provocado un aumento en la temperatura global, lo que a su vez intensifica los fenómenos climáticos extremos y altera los ciclos naturales del clima (González y otros., 2003; Reunal-Villaseñor, 2001; Verdaguer, 2013).

Los aumentos de la concentración de GEI reducen la eficiencia del planeta para re-emitir las radiaciones de onda corta, por lo que la radiación saliente de onda larga emitida por la Tierra en dirección al espacio es re-emitida a la superficie, lo que implica un incremento en la temperatura. Por lo tanto, si las concentraciones de GEI permanecen incrementándose, la temperatura se mantendrá en tendencia positiva y, a pesar de que las emisiones de gases se estabilicen, los efectos del calentamiento perduraran debido a que el tiempo de permanencia en la atmósfera de los GEI es muy largo (Magaña, 2004: 19). Como se puede apreciar en el Cuadro 1.

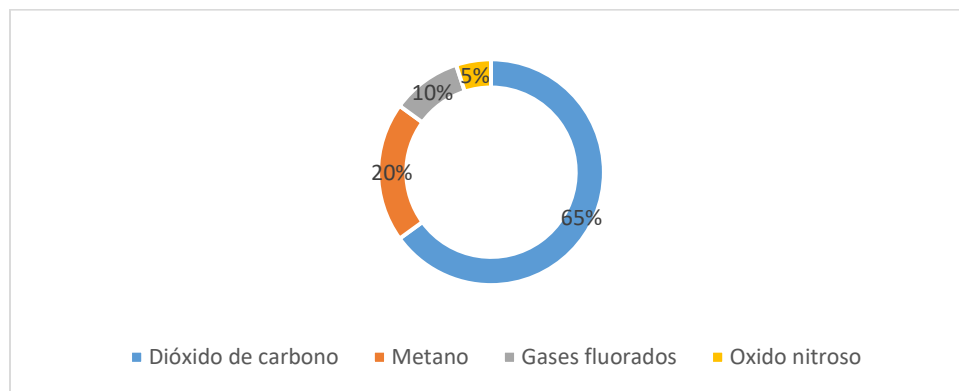
**Cuadro 1. Principales Gases de Efecto Invernadero (GEI) y su tiempo de permanencia en la atmósfera.**

Gas	Tiempo de permanencia en la atmósfera antes de degradarse	Potencial de calentamiento global (WGP)	Fuente
$CO_2$ Dióxido de carbono	500 años	1	Industria del cemento, eficiencia energética, transporte, petróleo y gas, bosques, vapor e hidroeléctricas.
$CH_4$ Metano	7-10 años	21	Granjas porcinas y vacunas, rellenos sanitarios
$N_2O$ Óxido nitroso	140-190 años	310	Fertilizantes y degradación de suelos, medio rural
$HFC_5$ Hidro-fluoro-carbono	65-110 años	1,300 (y más)	Industria refrigerante y aerosoles
$PFC_5$ Per-fluoro-carbono	Instantáneo	6,599	Industria del aluminio
$SF_6$ Hexa-fluoruro de azufre	Instantáneo	23,900	Industria del magnesio y el gas de los transformadores eléctricos

Fuente: Retomado de SEDESOL, 2012: 22.

Mientras tanto, en la Figura 2, se puede observar el porcentaje de participación de los gases de efecto invernadero de origen antropogénico, siendo el dióxido de carbono el que tiene mayor influencia con 65%, seguido por el metano con 20%, gases fluorados 10% y óxido nitroso con 5%, a estos gases se debe aumentar la participación indirecta del vapor de agua, que contribuye al aumento de la temperatura mediante un ciclo de retroalimentación positiva explicado anteriormente.

**Figura 2. Porcentaje de participación de GEI de origen antropogénico**

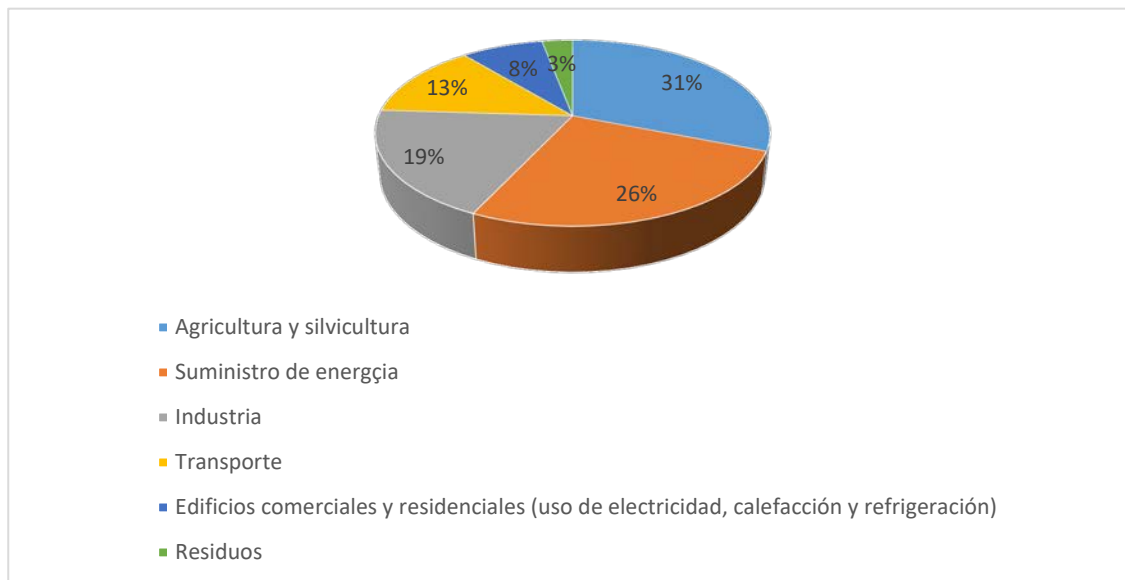


Fuente: Elaboración propia con base a Verdaguer, 2013: 9.

Los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera son los más altos en los últimos 650 mil años siendo esta la causa principal del aumento en la temperatura promedio de la superficie terrestre en 0.6° C en los últimos 100 años (SEDESOL, 2012: 15). El ritmo de aumento de la temperatura se ha acelerado, a tal grado que en los últimos 50 años es casi dos veces el promedio de hace 100 años, dando como resultado que los últimos años han sido los más calurosos desde 1850 (IDEM-UNAL, 2018). El límite máximo tolerable para el incremento de la temperatura es de 2° C, a partir del cual, se prevé que los efectos sobre el clima pueden ser imprevisiblemente catastróficos (Verdaguer, 2013, 10).

La Figura 3 muestra la distribución por sector de las emisiones de GEI, siendo la agricultura, la silvicultura, el suministro de energía y la industria los sectores con mayor porcentaje de emisiones.

**Figura 3. Porcentaje de emisiones de GEI por sector**



Fuente: Elaboración propia a partir de ONU-HABITAT, 2011: 24-26.

El 75% de la emisión antropogénica de  $CO_2$  proviene de la quema de combustibles fósiles para la producción de energía y el transporte, el restante se debe principalmente a la deforestación (Cárdenas, 2010: 3). Al mismo tiempo, se observa

un aumento de la concentración del  $CO_2$  en los últimos 250 años. En 1750 su proporción era de 280 ppm (partes por millón), y se elevó a 353 ppm en 1990, aumentando a una tasa de 1.8 ppm por año (González y otros., 2003: 378). Para el año 2013, la concentración de GEI alcanzó las 400 partes por millón, lo que implica un 40% más de los valores medios registrados en el último medio millón de años, esto podría implicar un incremento de la temperatura mayor a 4°C hacia finales de siglo (SEMARNAT, 2013: 9). En caso de seguirse esta tendencia, se estima que se encontrarán para el año 2050 en 700 ppm (González y otros., 2003).

En este sentido, algunos autores afirman que el aumento de  $CO_2$  proveniente de las actividades humanas es la principal causa del cambio climático (González y otros., 2003: 278; Arellano y Roca, 2015: 3). Y, de acuerdo con la 24° Conferencia de las Partes del Convenio Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático o COP 24, las emisiones globales de  $CO_2$  deberían reducirse a la mitad para el año 2030, y para lograrlo, es necesario disminuir en al menos dos tercios el uso de carbón para esa fecha (Greenpeace, 2018: 5).

A su vez, el Informe Stern sobre la economía del cambio climático demostró que los costos de la acción ante el cambio climático son menores a los costos de la inacción, mientras que el Informe sobre Desarrollo Humano 2007-2008 advierte que los impactos del cambio climático sobrepasaran la capacidad de las sociedades de hacerles frente, por lo que reconoce la adaptación al cambio climático como una forma distinta de planear y conducir el desarrollo (INECC-SEMARNAT, 2012: 29).

Además, el estado del medio ambiente tiene repercusiones en el funcionamiento de los ecosistemas, así como en el bienestar de los seres humanos. Estos cambios son inducidos por las fuerzas motrices y causados por presiones, a su vez, las repercusiones ambientales muestran efectos específicos en cada ecosistema y sistema humano (PNUMA, 2010). Por tanto, el cambio climático circunscribe una serie de interacciones entre procesos naturales, sociales, políticos y económicos,

con consecuencias en los ecosistemas, economías y sociedades a mediano y largo plazo (Salinas y otros., 2015: 42).

Finalmente, el cambio climático es un fenómeno distributivo debido a que afecta de manera diferente a individuos y grupos de acuerdo con la riqueza y al acceso a los recursos (ONU-HABITAT, 2011: 36). Se produce lentamente, a largo plazo, y cambia las características de los fenómenos extremos (Sánchez, 2013). La evidencia científica denota que el cambio climático ya comenzó (SEDESOL, 2012) y existe un consenso existente alrededor de que es un fenómeno progresivo que afecta a todas las áreas del planeta cuyo grado de peligrosidad depende de la severidad del cambio del clima global (Conde, 2007). Es un problema ambiental, social y económico con consecuencias globales y de largo plazo (SEDESOL, 2012), que consiste en una modificación de carácter caótico e imprevisible de las pautas meteorológicas a escala local (Verdagyer, 2013: 9). Por ello es considerado por la comunidad científica como uno de los mayores retos de la actualidad (CAF, 2013: 5).

## **1.2 Efectos del cambio climático**

El cambio climático global puede ser considerado como la mayor amenaza actual debido a sus múltiples consecuencias y cambios en las probabilidades de impactos diversos (PNUMA, 2010: 8). Los riesgos futuros propiciados de éste dependerán del ritmo, el pico y la duración del calentamiento global (IPCC, 2019:7). Así pues, sus impactos se determinan a partir de la combinación de la exposición física, las variaciones hidrológicas y meteorológicas, así como las circunstancias subyacentes de la población, la gobernanza y la capacidad adaptativa de un país (CAF, 2014).

De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC, 1992), los efectos adversos del cambio climático se verán en las regiones con las siguientes características: países insulares pequeños, zonas costeras bajas, zonas urbanas con altos niveles de contaminación atmosférica, zonas expuestas a la sequía y procesos de desertificación como las zonas áridas y

semiáridas, zonas con cobertura forestal y ecosistemas frágiles como los ecosistemas de montaña, zonas expuestas al deterioro forestal, zonas propensas a desastres naturales, países sin litoral o de tránsito y países con economías dependientes de ingresos por la producción, procesamiento y exportación de combustibles fósiles y productos asociados de energía intensiva o de su consumo.

Actualmente ya se han observado impactos en los sistemas naturales y humanos (GIECC, 2019), debido a que el cambio climático tiene un impacto sobre la gran mayoría de sectores productivos, entre los que se encuentran el turismo, agricultura, ganadería y producción de alimentos, sus efectos también generaran pérdidas de empleo debido a su impacto en el mercado inmobiliario, la industria, la generación de electricidad y sus posibles consecuencias en la salud de la población (Greenpeace, 2018: 6).

### **1.2.1 Efectos del cambio climático en el medio ambiente**

El cambio climático y sus efectos ya son perceptibles en diversos niveles y lugares. Desde 1880 a 2017, la temperatura media mundial ha subido 1°C, y sigue aumentando a un ritmo de 0.2°C por década. Según la Organización Meteorológica Mundial el año 2017 fue uno de los tres años más calurosos (junto con el 2015 y 2016) desde que se tienen registros (año 1880) (Greenpeace y Ojea, 2018: 11). En algunas regiones y estaciones del año, el calentamiento es superior al promedio mundial anual, lo que propiciará que los efectos del cambio climático sean mayores en este tipo de lugares (IPCC, 2019).

A partir de 1950 se observan cambios en los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, tanto el océano como la atmósfera que se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, los niveles máximos del mar se han elevado, y también hay mayor número de precipitaciones intensas y modificaciones de distribución geográfica de especies terrestres, dulceacuícolas y marinas (IPCCa, 2014: 51-53).

Diversos ecosistemas y hábitats terrestres y marinos ya han sido impactados por los efectos del cambio climático. Por ejemplo, se prevé la posible desaparición de algunas especies, la proliferación de otras y cambios distributivos en las mismas. Al mismo tiempo, la presencia de un mayor estrés hídrico propiciará una mayor cantidad de incendios forestales, con una mayor frecuencia y mayores dimensiones, lo que a su vez impactará los ecosistemas, los sistemas de reproducción y la supervivencia de los animales (Greenpeace y Ojea, 2018).

Finalmente, se ha detectado un cambio en las tendencias de intensidad y frecuencia de fenómenos climáticos y meteorológicos extremos desde el año 1950, así como un aumento del nivel medio global del mar, lo que generará dificultades de adaptación en los sistemas tanto humanos como ecológicos (GIECC, 2019: 7,9).

### *Biodiversidad*

El cambio climático impacta negativamente en la biodiversidad, y afecta en los procesos esenciales de muchos organismos como el crecimiento, reproducción y supervivencia de algunas poblaciones, lo que compromete su viabilidad y propicia una gran pérdida de biodiversidad y diversidad genética (Greenpeace y Ojea, 2018).

Además, un estudio realizado por el Grupo Intergubernamental para el Estudio del Cambio Climático (IPCC, 2019: 10), realizado a 105 mil especies prevé que, con un calentamiento global de 1.5°C, el 6% de los insectos, el 8% de las plantas y el 4% de los vertebrados pierdan más de la mitad de su alcance geográfico determinado climáticamente, y en caso de que el calentamiento global ascienda a 2°C los impactos serían al 18% de insectos, 16% de plantas y 8% de los vertebrados. De igual forma otros impactos asociados a riesgos para la biodiversidad como son los incendios forestales y la propagación de especies invasoras serán menores con un calentamiento global de 1.5°C.

Se estima que, de haber un calentamiento global de 1°C, aproximadamente entre 2 y 7% de la superficie terrestre mundial experimentará una transformación de sus

ecosistemas, en contraparte, de existir un calentamiento de 2°C, el rango de afectaciones será de un 8 a 20% (IPCC, 2019).

Debido a que los cambios climáticos antropogénicos son más rápidos, pueden causar daños significativos e irreversibles. Los ecosistemas más vulnerables serán los bosques tropicales y boreales, glaciares, manglares, lagos, humedales, sistemas de montañas, sistemas costeros y arrecifes de coral (CEPAL, 2009: 21; CEPAL, 2001: 22; IPCC, 2014a:3). Uno de los casos más preocupantes es el de los humedales, ecosistemas que están en riesgo de desaparecer totalmente (Greenpeace y Ojea, 2018). De igual forma, resaltan los riesgos que corren los bosques boreales y la tundra en latitudes altas de sufrir degradación y pérdidas derivadas del cambio climático (IPCC, 2019: 14).

Dentro de los impactos a los ecosistemas se observa la capacidad de afectación en su localización geográfica y biodiversidad, lo que altera el equilibrio de estos, a pesar de que permanecen en un proceso continuo de adaptación. En este sentido, Hughes propone cuatro tipos de respuestas al cambio climático; respuesta fisiológica; cambios en la distribución geográfica de especies y ecosistemas; cambios fenológicos en las alteraciones de los ciclos de vida de las especies y; adaptación mediante cambios microevolutivos (González y otros., 2003).

Así mismo, dentro de los cambios existentes en la distribución geográfica de especies, el aumento de temperatura hará posible la proliferación de especies tanto exóticas como invasoras, debido a que muchas especies de otras latitudes se instalan en nuevos territorios en los que anteriormente no habrían conseguido sobrevivir y que actualmente propician su adaptación y multiplicación, lo que supone un empobrecimiento y homogeneización del conjunto de seres vivos en el planeta (Greenpeace y Ojea, 2018).

Por otro lado, el aumento de la temperatura del océano amenaza por sí misma la supervivencia del arrecife, así como a la zooxantela simbiótica (algas unicelulares

asociadas a corales pétreos), los cuales tienen umbrales térmicos estrechos y producen el “blanqueado” de los corales, observado desde 1980 (Ezcurra, 2010).

Otro cambio en los océanos que se puede observar como consecuencia del aumento de los GEI, principalmente del  $CO_2$ , así como el aumento de la temperatura es la acidificación del océano, debido a que los mares son uno de los principales sumideros de  $CO_2$ . Actualmente el pH medio del océano es de 8.1, y, sin embargo, las proyecciones apuntan a una reducción de entre 0.14 y 0.35 unidades a finales del siglo (Del Valle, 2014), esto representa 26% del aumento de la acidez medida como concentración de los iones de hidrógeno (IPCC, 2014a: 4). El incremento de acidez dificulta la fijación de carbonato de calcio y re-disuelve el carbonato de las estructuras de defensa y de los exoesqueletos de especies marinas (Ezcurra, 2010). Esto implica riesgos para los ecosistemas marinos, principalmente los polares y los arrecifes de coral, derivado de los cambios en la fisiología, comportamiento y dinámica de las poblaciones de las distintas especies (IPCC, 2014b).

Se estima que el nivel de acidificación de los océanos amplificará los efectos adversos del calentamiento y repercutirá en el crecimiento, desarrollo, calcificación, supervivencia y como consecuencia en la abundancia de especies marinas (IPCC, 2019: 11).

### *Incendios*

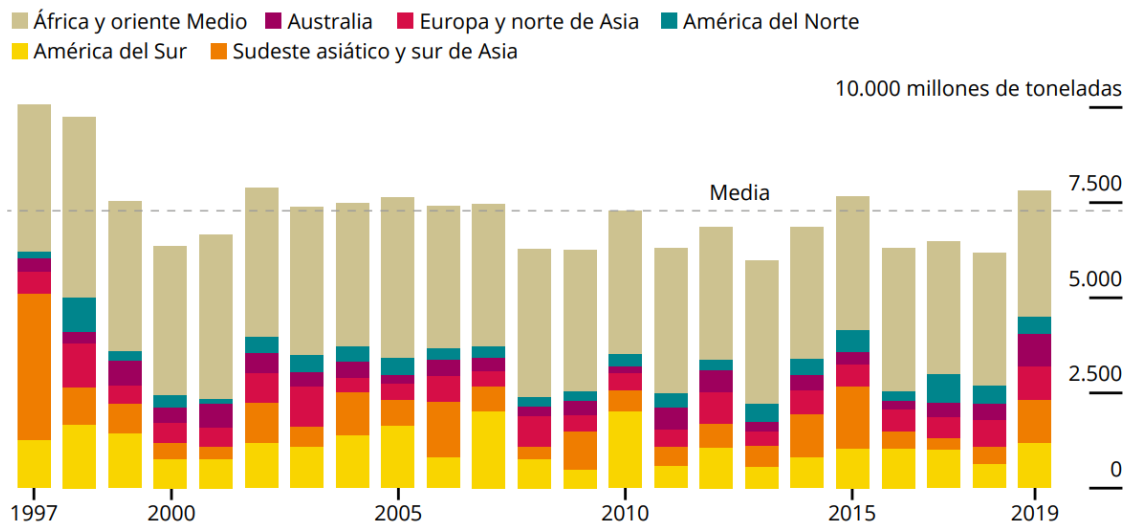
Los cambios en los patrones de los incendios en el mundo se asocian principalmente a dos factores; los cambios en el clima y las prácticas en el uso de la tierra (González y otros., 2011). Entre los cambios en el clima se encuentran: el aumento de la temperatura media, la disminución de precipitaciones, primaveras inusualmente cálidas, baja precipitación invernal, derretimiento temprano de la nieve en primavera y veranos más secos (González y otros., 2011: 2015; Greenpeace y Ojea, 2018: 16). Actualmente los fuegos, superan con mayor frecuencia las 500 hectáreas, a estos incendios se les denomina “Grandes Incendios Forestales” (Greenpeace y Ojea, 2018). El cambio climático intensifica las

condiciones que ayudan a su propagación, incontrolabilidad y severidad (Hernández, 2020).

Por otro lado, entre las prácticas en el uso de la tierra se encuentra el interfaz urbano forestal, es decir, una mayor cantidad de viviendas en el medio natural, lo que propiciará mayor cantidad de daños y pérdidas humanas. Actualmente, los incendios se han convertido en una prioridad ambiental y un problema de seguridad, por lo tanto, la gestión forestal debe ir a la par de la gestión de la planificación urbana (Greenpeace y Ojea, 2018)

En el año 2019 se observó una gran cantidad de incendios, con gran severidad y emisión de dióxido de carbono excepcional, donde cada año se reporta que entre el 3 y el 4% de la superficie terrestre del planeta se incendia (Hernández, 2020: 8). La Figura 4, muestra la evolución de las emisiones de dióxido de carbono debido a incendios forestales en el periodo de 1997-2019, siendo África y el oriente Medio la región con mayores emisiones, seguido por América del Sur, y el Sureste Asiático para el año 2019.

**Figura 4. Evolución de las emisiones de dióxido de carbono debido a incendios forestales entre 1997-2019.**



Fuente: Retomado de Hernández, 2020: 2.

Como se puede observar los incendios provocados y exacerbados por el cambio climático funcionan como un doble peligro. En primera debido a los riesgos inherentes que estos propician tanto para los ecosistemas como para el entorno humano, sino que a su vez generan una gran cantidad de emisiones de  $CO_2$ , lo que al mismo tiempo contribuye a que el cambio climático y el aumento de la temperatura promedio global aumente, convirtiéndose así en un círculo vicioso difícil de frenar.

Como se ha dicho, lo más peligroso de estos nuevos incendios no es solo sus dimensiones, sino su capacidad y velocidad de expansión, lo que pone en duda la capacidad de control que podamos tener sobre ellos (Greenpeace y Ojea, 2018). Los superincendios son imposibles de apagar, por tanto, la inversión no deberá hacerse en recursos para su extinción, sino en la prevención de estos eventos extremos (Hernández, 2020: 19).

Para el futuro control y la prevención de incendios, es necesario considerar una serie de factores. Los bosques y la tierra tienen un papel esencial para frenar al cambio climático, y buscar no superar el  $1.5^\circ C$  de temperatura media del planeta con los objetivos de los Acuerdos de París. Por tanto, se debe buscar la preservación de los bosques, las reservas de carbono en el suelo y la reducción de emisiones de la agricultura, así como mejorar la absorción del dióxido de carbono. La conservación, restauración y mejora de la gestión del suelo es imprescindible para aumentar el almacenamiento de carbono y evitar las emisiones de GEI (Greenpeace y Ojea, 2018:17).

### *Deshielo*

La UNESCO estima que cada año se pierden 58 mil millones de toneladas de hielo, lo que a su vez incrementa el nivel del mar en un 5% en el mundo con impactos para la escasez del agua e inundaciones (Flores, 2023). Entre los años 2000 y 2019, los glaciares en el planeta perdieron 267 000 millones de toneladas de hielo por año en promedio, lo que equivale entre el 18% y el 23% del aumento observado en el nivel del mar (Llorente, 2021).

La elevación de 1° C de la temperatura promedio del agua del mar producirá el derretimiento del hielo perenne del polo norte en un área aproximada de 1.5 millones de  $km^2$ , en caso de que el aumento de temperatura fuera de 3° C, el hielo de Groenlandia se derretiría totalmente, lo que a su vez aumentaría el nivel del mar 7 metros aproximadamente. Se espera que entre los años 2013 y 2030 ocurra el primer derretimiento total del polo norte en los veranos (Raynal-Villaseñor, 2011: 424).

Se estima que entre el año 1961 y el año 2016 se han perdido más de 10 billones de toneladas de hielo, y para el año 2100, los Alpes habrán perdido cerca del 90% de sus glaciares. En lo que respecta a la cordillera de los Andes (Venezuela, Perú, Chile, Bolivia, Ecuador, Colombia y Argentina), actualmente está perdiendo unos 19.3 kilómetros cúbicos de hielo por año, equivalente a un adelgazamiento anual de 85 cm y al 83% de pérdida de hielo en la cordillera (Línea Verde, 2022:3-4).

En la actualidad, los datos revelan que los glaciares que se derriten a una mayor velocidad en el mundo se encuentran en Alaska, Islandia y los Alpes, al igual que los encontrados en las montañas de Pamir, Hindu Kush y el Himalaya (Llorente, 2021). La disminución de los volúmenes de agua en glaciares y capas de nieve ubicados en diferentes cordilleras reducirá la disponibilidad de agua en los veranos en regiones que dependen del derretimiento de nieve para su suministro (Sánchez, 2010; 26-27).

A su vez, desde 1990, se han perdido alrededor de tres cuartas partes del volumen de hielo del Ártico, lo que genera una gran disminución de la banquisa (agua de mar congelada). Esta superficie de hielo actúa como un espejo rebotando la radiación solar al espacio, lo que se conoce como efecto albedo, por lo que, al derretirse, los rayos solares penetrarán más profundo en el agua, incrementando la temperatura y disminuyendo la capacidad refrigeradora del Ártico. La evaporación del mar será más rápida y aumentarán las precipitaciones, modificando las corrientes de agua

dulce y marina en el mundo lo que traerá como consecuencia modificaciones meteorológicas por todo el planeta (Greenpeace y Ojea, 2018: 19, 22).

Otro de los efectos del deshielo es que al derretirse el permafrost se generan graves consecuencias, como la liberación de mercurio tóxico, grandes emisiones de carbono y metano e incluso el resurgimiento de enfermedades que se creían erradicadas y permanecían congeladas en el hielo desde hace 30 000 años (Línea Verde, 2022:1-2). Así mismo, otra consecuencia del deshielo de los glaciares, casquetes y mantos de hielo polar, así como de la dilatación térmica, es el aumento del nivel del mar (Cárdenas, 2010; 9). Si no se mitiga el cambio climático, las consecuencias del deshielo acelerado serán devastadoras para los ecosistemas y las poblaciones humanas.

#### *Subida del nivel del mar*

De manera natural, el aumento del nivel del mar en las zonas costeras es un fenómeno lento y constante provocado por movimientos epirogénicos resultantes del ajuste de las placas tectónicas en la corteza terrestre. Sin embargo, actualmente este fenómeno se ve acrecentado y acelerado por el cambio climático y el calentamiento global (CEPAL, 2009: 22).

A partir de la década de 1970 el nivel del mar ha aumentado en todo el mundo, en promedio se ha elevado 3.2 mm por año en las décadas del 2000 y 2010. Cerca de una tercera parte de este cambio es consecuencia de la expansión o dilatación térmica, este fenómeno se refiere a que el agua al momento de calentarse se expande, y debido a que tiene un espacio limitado, se incrementa su nivel. Los otros dos tercios son el resultado de la entrada de agua dulce procedente del derretimiento de los hielos terrestres en zonas polares y montañosas, también denominado deshielo continental (ONU, 2017:4; SEMARNAT, 2009:26; Greenpeace y Ojea, 2018: 25; García, 2009: 16; Comité Científico COP25, 2019:40).

Además, debe considerarse la existencia de cambios regionales y locales del nivel del mar, los cuales se ven regidos por factores como la variabilidad regional de los vientos, las corrientes oceánicas, la topografía, los movimientos de placas tectónicas y los cambios antropogénicos en el uso de la tierra y zonas costeras (ONU, 2017: 4). Por ejemplo, el nivel del mar en el Pacífico occidental está aumentando cuatro veces más rápido que el promedio mundial (Comité Científico COP25, 2019: 56). De acuerdo con el IPCC recalca que algunas zonas del Pacífico Trópico-Occidental, el Pacífico Suroccidental, el Pacífico Norte y el océano Índico Suroccidental y el Atlántico Sur se enfrentan a una subida del nivel marino sustancialmente más rápida que llega a los 4.5 mm al año en el periodo 2013-2022 (ONU, 2023b).

Uno de los escenarios a tomar en cuenta es que, en el caso de existir un calentamiento global de 4°C para el año 2100, la elevación media del mar alcanzaría casi 1 m con respecto al nivel del mar de 1980 a 1999 (ONU, 2017:4). Otras proyecciones evaluadas por el US National Research Council sugieren que dicho aumento durante el siglo XXI será de entre 0.56 y 2.0 m (Comité Científico COP25, 2019: 56). Sin embargo, en la mayoría de los trabajos científicos el escenario utilizado es el de un aumento del nivel del mar en 50 centímetros para el año 2050 (Barton, 2009:14). En caso de que éste aumento sea de 21 centímetros se prevé la desaparición del 17.5% de la superficie terrestre de Bangladesh desplazando de entre 8 y 10 millones de personas (Fernández, 2009:180).

Otra de las consecuencias de este fenómeno es el efecto en los procesos erosivos o sedimentarios tanto en puertos y playas, la intrusión de agua marina y por lo tanto la salinización de acuíferos costeros, que generará problemas de abastecimiento de agua potable (Greenpeace, 2018:26), la erosión del suelo, la inundación de humedales, contaminación de suelo agrícola y acuíferos y por ende la pérdida de diferentes hábitats (Comité Científico COP25,2019: 56). Además, cuando las tormentas de gran intensidad tocan tierra, el nivel del mar elevado provoca temporales de mayor tamaño e intensidad (National Geographic, 2010).

Las zonas más vulnerables a este cambio son las zonas costeras bajas, los deltas fluviales o llanuras costeras amplias, las playas y las islas pequeñas de escasa altitud y topografía llana (Del Valle, 2014: 11; Greenpeace y Ojea, 2018: 25). Se pueden considerar como zonas costeras bajas aquellas que se encuentran elevadas a menos de 10 metros sobre el nivel del mar (Dodman, 2010: 31). Entre los principales impactos en estos espacios se encuentran la inmersión, inundación, erosión costera, reducción en la disponibilidad de agua potable, pérdidas de propiedad y medios de sustento, tormentas, pérdida de humedales, intrusión de agua salada y el aumento en los niveles freáticos (IPCC, 2014b: 17; Barton, 2009:10). Sus efectos pueden ser físicos, ecológicos, sociales y económicos (Botello y Villanueva-Fragoso: 2010, 3).

Esta situación se agrava debido a que aproximadamente la mitad de la población mundial vive en zonas costeras (CEPAL, 2009: 23). El 2% de la superficie terrestre corresponde a centros urbanos localizados en zonas costeras bajas, los cuales albergan aproximadamente el 13% de la población urbana mundial (Dodman, 2010: 31; ONU-HABITAT, 2011: 9). Además, el 11% de la población mundial reside en los primeros 10 metros de elevación sobre el nivel del mar, superficie que representa el 2% del total mundial (CAF, 2023: 44). Actualmente más de 150 millones de personas en el mundo viven en tierras con altitudes menores a 1 m por encima del nivel actual de la pleamar y que 250 millones viven en altitudes menores de 5 m por encima de ese nivel (ONU, 2017:13). Finalmente, más de 600 millones de personas residen en áreas costeras con menos de 10 metros de elevación, la mayoría de ellas en Asia y 13% en megaciudades (Barton, 2009: 14).

Por lo tanto, los países con mayor proporción de superficie terrestre a elevaciones bajas, así como con poblaciones costeras numerosas son los más susceptibles a elevaciones del nivel del mar (CAF, 2014: 29). Las inundaciones en las zonas costeras bajas generarán migraciones forzadas de los afectados a tierras más altas (National Geographic, 2010).

De tal forma, el cambio climático condiciona la baja formación de hielo, su rápido derretimiento, la dilatación térmica del océano, la pérdida de la capacidad refrigerante de los polos, el aumento de la temperatura del mar y una subida en el nivel del mar, que a su vez influirá en una mayor cantidad de daños no sólo en las costas, sino también en los cauces de los ríos.

### *Desertización y desertificación*

El aumento de la temperatura por el calentamiento global ha generado en consecuencia diferentes procesos de sequía, desertización y desertificación. La sequía es un fenómeno caracterizado por la reducción prolongada de agua disponible, mientras que la desertización es un proceso natural y la desertificación es un proceso de degradación de un territorio fértil como consecuencia de actos humanos (Greenpeace y Ojea, 2018: 28).

Para el año 2100, se prevé una disminución de aproximadamente 20% en la precipitación, situación agravada por el cambio climático y que hará que los periodos de sequía sean más intensos y extensos (IPCC, 2007; 46; Greenpeace, 2009:5). Lo que implica un impacto en los cultivos, el aumento de riesgo de incendios, menor potencial de generación hidroeléctrica, degradación de la tierra (Barton, 2009:10) y mayor estrés hídrico que supone menor suministro y calidad de agua en los asentamientos humanos, industria y sociedades, así como un aumento de migraciones (Sánchez, 2013: 36). Antes del año 1970 un 15% de la superficie terrestre sufría sequía en algún momento, para el año 2010 este monto llegó a un 30% (Greenpeace, 2009:5). En el caso del área terrestre en sequía extrema, para el año 1970 fue de 1%, mientras que para el año 2100 esta cifra podría aumentar hasta un 30% (ONU-HABITAT, 2011: 32).

Referente al proceso de desertización natural, se puede observar que este se encuentra íntimamente ligado a las condiciones climáticas y a los ciclos naturales de sequías y lluvias torrenciales que arrastran la capa orgánica de suelo y deterioran el estado de este y la biodiversidad. Cada año se pierden millones de toneladas de

suelo arrastrados por agua y viento (Greenpeace, 2009:2,5). El agua, el suelo y la vegetación son elementos esenciales para la vida, por lo que la degradación de las tierras por erosión son un problema ambiental mundial (López, 2001: 94).

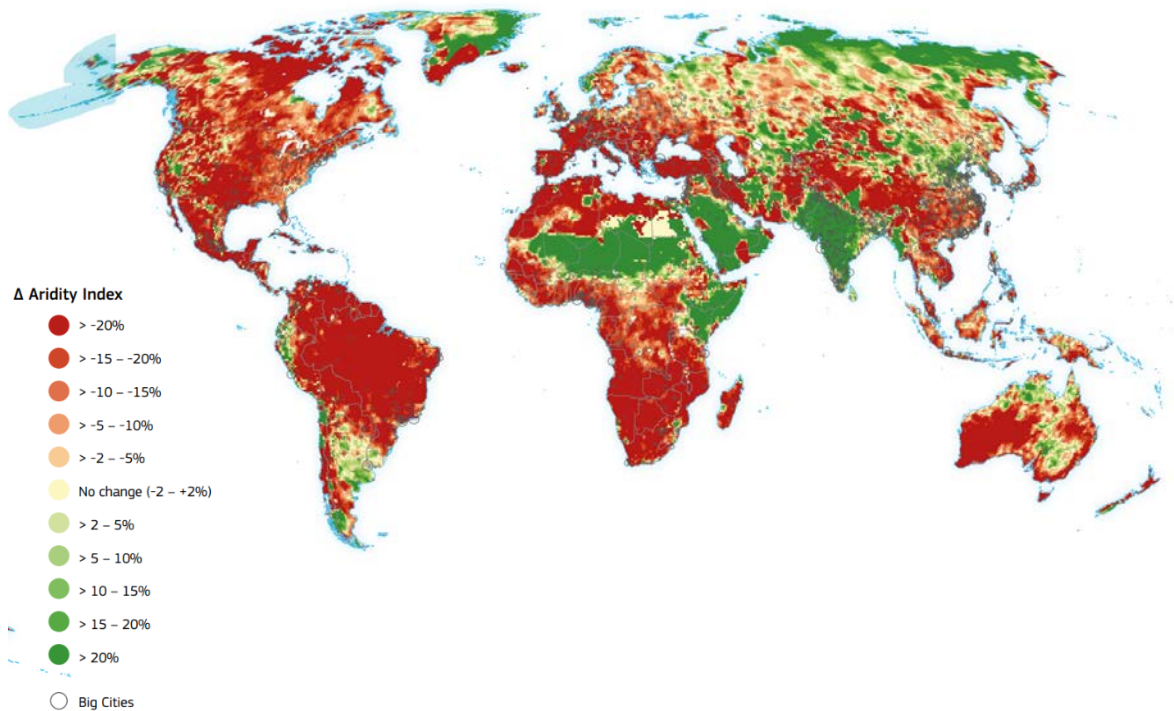
Las tierras secas constituyen espacios sensibles y complejos con un frágil equilibrio entre el clima, los recursos naturales y la intervención del hombre, lo que resulta en una mayor sensibilidad a los efectos de la erosión de la desertización, la desertificación y el cambio climático (López, 2001: 94).

La desertificación es la degradación de la tierra en regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas, derivada de múltiples factores como la escasez de lluvia, el mal uso de los recursos hídricos, deforestación, agricultura intensiva, monocultivos, el uso de variantes transgénicas, sobre pastoreo, la presión urbanística, incendios (Greenpeace, 2009:4,7) talas y fenómenos extremos como lluvias torrenciales y olas de calor, todo lo anterior agravado con el cambio climático (Greenpeace, 2018: 30). Al estar involucradas las actividades humanas puede considerarse a la desertificación fundamentalmente un problema de desvinculación entre los recursos naturales y el sistema socioeconómico que los explota (Greenpeace 2009,1-2).

Actualmente el Atlas Mundial de la Desertificación brinda una valoración de la degradación de los suelos en el mundo y que asevera la urgencia de adoptar medidas correctoras para dicho problema (Comisión Europea, 2018: 1). En el mapa 1 se puede observar la estimación del Índice de aridez para el periodo de 2071-2100, siendo que este prevé, que la mayor parte del planeta tendrá un Índice de Aridez mayor al 20%, lo que plantea múltiples desafíos para la humanidad y el abastecimiento de sus necesidades.

Para el año 2018, el 75% de la tierra global estaba ya degradada, y esta cifra podría ascender al 90% hacia 2050 con graves impactos en África y Asia (Comisión Europea, 2018: 1-2).

Mapa 1. Índice de Aridez para el periodo 2071-2100



Fuente: Retomado de European Union, 2018: 83.

En este sentido, la desertificación y el cambio climático afectan tanto la integridad ecológica como la seguridad alimentaria, incrementando la pobreza y las migraciones. Se estima que para el año 2050 el rendimiento mundial de los cultivos en aproximadamente un 10% anual y, en países como India, China y el África subsahariana, la disminución de la producción de los cultivos podría llegar al 50% (Comisión Europea, 2018: 1).

A pesar de que la desertificación es un problema mundial, las soluciones y medidas para contrarrestarla deberán ser pensadas a escala local (Comisión Europea, 2018: 1). La gestión adecuada de los recursos hídricos y la adopción de prácticas agrícolas sostenibles son esenciales para frenar el avance de la desertificación. La reforestación y el control del uso del suelo urbanizable también son medidas clave para mitigar sus efectos (Greenpeace y Ojea, 2018:31).

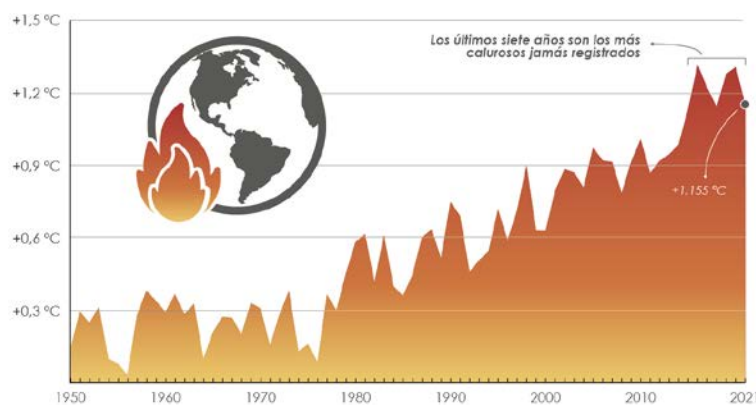
#### *Aumento de temperatura*

Existen dos variables importantes que contribuyen al calentamiento global: las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y los cambios de uso de suelo que modifican los balances de la radiación entre superficie y atmósfera (Fernández, 2009: 175). Todos los modelos coinciden en que si la humanidad sigue aumentando las emisiones de GEI el calentamiento global será de entre 1.8 y 4°C (Conde, 2010; 53; Vide, 2009; 59), sin embargo, existen otros autores que prevén que el aumento de la temperatura promedio puede ser de entre 1.8°C y 5.8°C (Álvarez, 2010; 32), e incluso podría llegar hasta 6°C (ENCC, 2013; 11).

El IPCC calcula que el calentamiento global antropógeno es de 0.2° C por decenio debido a las emisiones anteriores y actuales (Llanos, 2018: 21). El aumento de temperatura global de aproximadamente 1.0° C con respecto a los niveles preindustriales ha sido causado por las actividades humanas, y en caso de seguir con la tendencia actual este aumento será de 1.5° C entre 2030 y 2052 (IPCC, 2019: 6).

En la Figura 5, se puede observar el cambio de la temperatura media global anual con respecto al periodo de 1850-1900, siendo los últimos siete años los más calurosos en la historia, y estando muy cerca del punto de no retorno de 1.5°C. De seguir con la tendencia actual de emisiones de GEI, este punto de inflexión será alcanzado en el año 2040.

**Figura 5. Cambio en la temperatura media global anual con respecto al periodo 1850-1900.**



Fuente: Retomado de Merino, 2022.

El calentamiento global no se distribuye de manera uniforme, en las aproximaciones del polo norte se observa en mayor medida, mientras que en otras regiones no es perceptible (Conde, 2010; 51, Llanos, 2018: 32). Las temperaturas árticas invernales han aumentado hasta en 5° C en algunas zonas, siete veces la media de incremento medio mundial (Cárdenas, 2010; 7-8).

Además, se prevé que el calentamiento global incrementará la frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos como olas de calor, lluvias torrenciales y sequías, lo que afectará los cultivos, los ecosistemas y la calidad de vida humana, aumentando la mortalidad relacionada con el calor (IPCC, 2019: 9; Tejada y Castillo, 2010: 34; IPCCa, 2014: 51; Cárdenas, 2010:2). Asimismo, se pronostica la pérdida de biodiversidad y ecosistemas de manera proporcional al aumento del calentamiento global, si las temperaturas globales aumentan entre 1.5°C y 2.5°C se estima que entre el 20% y el 30% de las especies vegetales y animales estarán en peligro de extinción (IPCC, 2019: 10; IPCC, 2007: 48).

También, actualmente se calcula que el océano ha absorbido alrededor del 90% del calor generado por las emisiones de GEI, lo que ha conllevado el aumento de su temperatura de 1.1°C y la consecuente degradación de hasta el 60% de los ecosistemas marinos. Un calentamiento de 1.5° podría destruir entre el 70 y el 90% de los arrecifes de coral y un calentamiento de 2° C podría llevar a la desaparición total de estos ecosistemas, además de provocar la proliferación de especies invasivas y grandes migraciones de especies nativas, lo que implica modificaciones en los ecosistemas marino (ONU, 2023b; National Geographic, 2022). A su vez, el aumento de las temperaturas del mar genera una mayor evaporación, lo que contribuye a la intensificación de tormentas y huracanes, provocando mayores daños a los ecosistemas marinos y a infraestructuras humanas (National Geographic, 2022).

De la misma forma, el aumento de temperatura implicará riesgos para la salud, los medios de subsistencia, la seguridad alimentaria, el suministro del agua, la

seguridad humana y el crecimiento económico (IPCC, 2019: 11). A mayor grado de calentamiento global, mayores serán los riesgos relacionados con el clima para los sistemas naturales y humanos, estos riesgos dependerán de la magnitud y ritmo del calentamiento, la ubicación geográfica, niveles de desarrollo y vulnerabilidad, así como de la capacidad de adaptación y mitigación de cada región (IPCC, 2019: 7).

Para limitar el calentamiento global a 1.5° C se requerirán transiciones rápidas a sistemas energéticos, terrestres, urbanos, de infraestructura e industriales sostenibles y que impliquen profundas reducciones en las emisiones de GEI en todos los sectores, así como la implementación de diversas opciones tanto de mitigación como de adaptación a los efectos del mismo (IPCC, 2019: 17).

Como se puede observar, el aumento de la temperatura es, como la mayoría de los efectos del cambio climático, un efecto concatenado que involucra una serie de consecuencias que a su vez hacen sinergia y provocan efectos cada vez más devastadores, así como un mayor aumento en la temperatura media global.

#### *Fenómenos meteorológicos extremos*

Los fenómenos meteorológicos extremos son eventos meteorológicos pocos frecuentes y que pueden ser inesperados, inusuales, severos o no estacionales (Endesa, 2023). Éstos son: episodios de altas temperaturas como olas de calor, olas de frío, huracanes o ciclones tropicales, sequías, lluvias torrenciales y tifones (DKV, 2023). Dichos fenómenos son ahora cada vez más frecuentes e intensos en todo el mundo, y aunque el cambio climático no es la causa directa de estos eventos, sí influye en la probabilidad de que estos se presenten, su intensidad y el nivel de impacto sobre la sociedad como pérdida de cultivos y tierras agrícolas, destrucción de propiedades, pérdidas económicas graves y pérdida de vidas humanas (Clarke y Otto, 2022:4).

Los episodios de calor extremo son ahora más asiduos, intensos y duraderos, en las últimas décadas han aumentado especialmente en zonas urbanas donde el

fenómeno de “isla de calor” amplifica las temperaturas (ONU-HABITAT, 2011: 32). Se considera que un aumento de 1° C. en la temperatura promedio global generará que los periodos de retorno de olas de calor se reduzcan drásticamente, olas de calor que se presentaban una vez cada 10 años ahora se presentan 2.8 veces en el mismo periodo de tiempo, mientras que las olas de calor que ocurrían una vez cada 50 años ahora se presentarán 4.8 veces más (Clarke y Otto, 2022:16). Como consecuencia habrá un incremento en la mortalidad, morbilidad y demanda del agua, al mismo tiempo que la calidad de vida de la población sin acceso a viviendas adecuadas se verá reducida. Los más afectados serán los habitantes de zonas cálidas, los adultos mayores, los niños y los pobres (Sánchez, 2013: 36).

El aumento de la temperatura y el cambio climático modifican las condiciones en las que ocurren las precipitaciones fuertes como tormentas y lluvias repentinas y a su intensifican las precipitaciones, ya que la atmósfera retiene más humedad y vapor de agua (Clarke y Otto, 2020: 18, 30). Además, las lluvias severas se relacionan en mayor o menor grado con las inundaciones fluviales, inundaciones repentinas y deslizamientos de tierra, mientras que las inundaciones costeras se relacionan con vientos fuertes, mareas altas, el aumento del nivel del mar y la fuerza de las tormentas (Clarke y Otto, 2020: 18, 20). Lo que a su vez se traduce en contaminación de las fuentes de agua, riesgos de aumento de enfermedades infecciosas, efectos negativos en los asentamientos humanos, la infraestructura rural y urbana e inundaciones más frecuentes y destructivas, así como desprendimientos de tierra con graves implicaciones particularmente en áreas urbanas (Barton, 2009:10; ONU-HABITAT, 2011: 31-32).

Las inundaciones fluviales y costeras, junto con los deslizamientos de tierra, son los desastres que generan más altos costos económicos y afectan de manera desproporcionada a las comunidades vulnerables debido a que están conectadas no solo las fuertes lluvias sino también los factores humanos como la gestión del agua y la ocupación urbanística en zonas inundables (Sánchez, 2013: 36; Greenpeace y Ojea, 2018: 38). En la actualidad, los cambios tanto la frecuencia

como la magnitud de inundaciones globales son ya evidentes (IPCCa, 2014: 51-53). Aunque los estudios de atribución muestran grandes diferencias entre regiones, algunas de ellas con cambios menores y otras con resultados devastadores (Clarke y Otto, 2020: 19).

Respecto a los ciclones tropicales, huracanes y tifones<sup>1</sup> el cambio climático tiene injerencia en tres formas principales, en primer lugar es que aumenta las precipitaciones y los ciclones tropicales son fenómenos pluviales extremos, en segundo lugar, el aumento de la temperatura de los océanos<sup>2</sup> crea las condiciones propicias para que las tormentas sean más potentes y persistan hasta alcanzar tierra (Clarke y Otto, 2020: 21), debido a que éstos obtienen mayor energía del agua y viento con temperaturas más cálidas, al mismo tiempo que representan mayor evaporación y por lo tanto precipitaciones más intensas (Cárdenas, 2010: 7-8), requiriéndose una temperatura superficial del mar de 26° C para su formación (CAF, 2014: 31), y en tercer lugar la elevación del nivel del mar tanto por la dilatación térmica como por el derretimiento de los glaciares, propicia mayores daños principalmente por inundaciones (Clarke y OTTO, 2020:21).

Por un lado, de 1945 a 1990 existió una disminución global del número de huracanes intensos en el Océano Atlántico, por el otro lado, de 1998 a 2004 los huracanes despuntaron los registros anteriores (Cárdenas, 2010; 7-8). En este sentido, el calentamiento de los océanos ha generado entre los años 1970 y 2004

---

<sup>1</sup> Los huracanes, ciclones y tifones son el mismo fenómeno meteorológico, un sistema tormentoso. Sin embargo, su denominación varía dependiendo del lugar donde se producen, si se presentan en el Atlántico norte, el Caribe y en nororiental del Pacífico se denominan “huracanes”. En el Pacífico noroccidental se denominan “tifones”, mientras que en la región suroriental del océano Índico o en el Pacífico suroeste se denominan “ciclones tropicales graves” (Than, 2023).

<sup>2</sup> Las temporadas de huracanes también se están modificando debido al cambio de temperatura, de manera regular la temporada de huracanes del Atlántico comienza el 1° de junio hasta el 30 de noviembre, en el Pacífico nororiental la estación es de 15 de mayo y finaliza el 30 de noviembre. En el Pacífico noroccidental los tifones se dan entre finales de junio y hasta diciembre, y, en el océano Índico se dan entre abril y diciembre (Than, 2023).

casi la duplicación del número de huracanes de categorías 4 y 5<sup>3</sup> (Conde, 2010: 51; Vide, 2009; 59; Than, 2023), así como un aumento proporcional de tempestades muy intensas desde 1970. Por lo tanto, es probable que se presente un aumento en la actividad ciclónica tropical intensa, lo que implica perturbaciones por inundaciones y vientos fuertes, migraciones humanas y pérdida de propiedades entre otros (Sánchez, 2013: 36).

Se espera que los futuros ciclones tropicales (tifones y huracanes) sean más intensos, con máximos de velocidad de viento más acentuados. Al mismo tiempo, las trayectorias de tempestad extra tropicales progresarán hacia los polos y provocarán cambios en las pautas de viento, precipitación y temperatura (IPCC, 2007: 46). A su vez, esto traerá como consecuencias cortes de energía, problemas de escasez de agua potable, daños por inundaciones y vientos entre otros (Barton, 2009:10).

En contraparte, las sequías ahora son más comunes y severas debido al cambio climático. A medida que las temperaturas aumentan, se incrementa la evaporación, y aunque las lluvias sean más intensas, estas son más breves y no logran compensar las pérdidas de humedad en el suelo. Las zonas más afectadas por las sequías incluyen el Mediterráneo, África austral, Asia central y partes de Norteamérica (Clarke y Otto, 2020:25, 31).

Finalmente, los recursos hídricos se ven afectados por los fenómenos hidrometeorológicos como sequías prolongadas e inundaciones intensas, lo que deriva en vulnerabilidad del sector agrícola, así como en la reducción de la

---

<sup>3</sup> Para entrar en la clasificación de huracán, tifón o ciclón, los vientos de una tormenta deben alcanzar velocidades de al menos 119 km por hora (Than, 2023). La escala de Saffir-Simpson clasifica los huracanes en categoría 1 (Vientos de 119-153km/h y marea de tormenta de 1.2-1.5m), categoría 2 (154-177 km/h y 1.6-2.4m), categoría 3 (178-209 km/h y 2.5-3.6m), categoría 4 (201-249 km/h y 3.7-5.5m) y categoría 5 (mayores a 249 km/h y mareas de tormenta mayores de 5.5m) (Jiménez y otros., 2007: 7).

disponibilidad del recurso, acrecentado por la distribución espacial desigual del recurso agua (Magaña y Gay, 2002: 13).

Como se puede observar, existen cambios tanto en los patrones de los fenómenos meteorológicos extremos como en su intensidad y probabilidad de aparición. El cambio climático derivará en diversas afectaciones a los sistemas ecológicos y humanos por lo que tomar medidas de mitigación y adaptación podría aminorar los impactos negativos del cambio climático.

### **1.2.2 Efectos del cambio climático en la sociedad**

El cambio climático impactará no sólo a los sistemas naturales sino también a diversos sectores humanos y se sufrirán en todas las esferas de la vida, especialmente en la economía (Greenpeace y Ojea, 2018:40). Las afecciones por este fenómeno pueden observarse en forma de “cascada”, es decir atribuibles al clima, pasando por sistemas intermedios y finalmente a las personas (IPCC, 2014a: 54). Estos impactos son geográficamente heterogéneos debido a que no sólo dependen de factores físicos derivados de la localización sino también de factores tanto sociales como económicos (IPCC, 2014a: 51-52). Asimismo, sus efectos combinados con los altos ritmos de la urbanización están desembocando en diversas amenazas para la estabilidad social, medioambiental y económica del mundo (ONU-HABITAT, 2011: 9).

El cambio climático es un desafío a todos los modelos productivos (Greenpeace y Ojea, 2018:40). En la cuestión económica se pronostica que en caso de no tomar medidas y acciones pertinentes el costo y riesgo total del cambio climático equivaldrá a la pérdida del 5% anual del Producto Interno Bruto Global (PIB) y podría aumentar a un 20% (Cárdenas, 2010b; 46-47). Se estima a su vez, que los costos económicos derivados de los impactos del cambio climático en países en desarrollo se encontrarán en el rango del 2% al 9% PIB nacional de este tipo de países (Barton, 2009:7).

Debido a sus características, los impactos del cambio climático son de escala local, por lo que de acuerdo con las actividades económicas endémicas se espera que afecten en menor o mayor medida el desarrollo sostenible de las regiones (Nahón, 2011: 16). Los mayores impactos se darán en la seguridad alimentaria, aumentos en los precios de los alimentos, pérdidas de ingresos, pérdida de oportunidades de subsistencia, impactos en la salud, desplazamientos de la población y daños patrimoniales. Siendo las poblaciones desfavorecidas y vulnerables como los pueblos indígenas, niños, adultos mayores, las personas en situación de pobreza, las personas y ecosistemas en el Ártico y los pequeños estados insulares en desarrollo (Greenpeace y Ojea, 2018: 40), los habitantes de los países más pobres y las comunidades previamente marginadas los más afectados (Palacios, 2016: 17).

Por otro lado, Pardo (2007:5), clasifica los impactos sociales del cambio climático en tres esferas principales; primero, los impactos en la población como base sociodemográfica con impactos a la salud, cambios en la esperanza de vida y capacidad reproductiva biológica, procesos migratorios y en el equilibrio de la estructura social, segundo, en la base económica; con cambios en los usos de territorio, impactos en el empleo, la renta económica, los riesgos a los medios de subsistencia y la tecnología, y tercero en la organización social y la cultura, a través de los cambios en la estructura social, las redes de apoyo, las organizaciones políticas y sociales, los sistemas de gobernanza y democracia, cambios en normas y valores sociales y modificación en la conflictividad y cohesión social.

El cambio climático debe ser considerado como un hecho social, debido a que es causado por ámbitos sociales, por lo tanto, para su mitigación se requiere una acción humanitaria coordinada que modifique la gestión y relación humana con el sistema biológico a partir de un cambio de valores principios, prioridades y objetivos *tanto sociales como económicos (Greenpeace y Ojea, 2018: 40-41).*

*Salud*

La salud es un aspecto crítico de la vulnerabilidad (CAF, 2014: 7) que de manera tradicional, se ha relacionado con el contexto local (Moreno, 2010; 24), sin embargo, a consecuencia del deterioro del medio ambiente, se han generado cambios en la salud basados principalmente en el aumento de frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos, cambios en la actividad de vectores y parásitos, modificaciones de agentes infecciosos transmitidos por el agua y los alimentos, disminución de la actividad agrícola, aumentos del nivel del mar, cambios en la temperatura, precipitaciones y humedad. Por tanto, se vislumbran escenarios propicios para la emergencia y reemergencia de enfermedades infecciosas (Sánchez, Salim y González, 2009: 1877-1878, Pérez, 2011: 373), el incremento de la malnutrición y alteraciones subsecuentes, aumento de personas fallecidas y afectadas por enfermedades y lesiones resultados de los eventos climáticos extremos, la mala calidad del agua o la ausencia de esta y de alimentos, aumento de la morbilidad y mortalidad por afecciones respiratorias y compromiso de la salud mental (Favier y otros., 2019: 278).

El cambio climático es un multiplicador de los riesgos en la salud debido a que aumenta la carga de las enfermedades sensibles a los efectos del clima (OPS, 2019: 5). Sus impactos pueden clasificarse en tres niveles debido a sus implicaciones; los inmediatos, provocados por eventos, como inundaciones; los secundarios, que requieren acciones a mediano plazo por ejemplo la destrucción de infraestructura y contaminación y; los terciarios, que son impactos a largo plazo como la proliferación de vectores de enfermedades (Fernández, Ronquillo y Cuerdo, 2023.59). En este sentido, se estima que entre 2030 y 2050, el cambio climático causará anualmente unas 250 000 defunciones adicionales, de las cuales 38 000 serán por exposición al calor, 48 000 por diarrea, 60 000 por paludismo y 95 000 por desnutrición infantil (Favier y otros., 2019: 275).

Factores como cambios en la temperatura, precipitaciones, humedad y aumento del nivel del mar pueden alterar el grado, ciclo vital y ritmo de transmisión de algunas enfermedades infecciosas (ONU-HABITAT, 2011: 36), siendo la distribución

geográfica y la variación estacional de las mismas la primera evidencia de su relación con el tiempo y el clima (Pérez, 2011: 372). Enfermedades como el dengue, malaria, cólera y el virus hanta han resurgido en los últimos años (CEPAL, 2009: 23). En otras palabras, se prevé la intensificación de vectores de enfermedades (Álvarez, 2010: 34). El cambio climático aumenta, intensifica y propaga las enfermedades ya existentes a otras latitudes (Greenpeace y Ojea, 2018: 45). El Cuadro 2 muestra las enfermedades infecciosas que serán afectadas por el cambio climático.

**Cuadro 2. Enfermedades infecciosas que pueden ser afectadas por el cambio climático por continente**

Enfermedad/ Continente	Europa	Asia y África	América
	Dengue	Malaria	Malaria
	Encefalitis por garrapatas	Leishmaniasis	Leishmaniasis
	Fiebre botonosa	Fiebre viral hemorrágica	Dengue
	Tifus murino	Dengue	Hantavirus
	Enfermedad de Lyme	Fiebre amarilla	Fiebre amarilla
	Fiebre recurrente	Encefalitis equina del este	Encefalitis de San Luis
	Malaria	Fiebre del río Ross	Encefalitis equina
	Leishmaniasis	Encefalitis japonesa	Venezolana
		Fiebre del Valle de Rift	
		West Nile	
		Fiebre de Chikungunya	

Fuente: Elaboración propia a partir de Sánchez, Salim y González, 2009: 1880-1881.

Por ejemplo, se calcula que la malaria causa alrededor de 350 a 500 millones de contagios al año y más de un millón de muertes. Por otro lado, el dengue afecta entre 50 y 100 millones de personas al año (Favier y otros., 2019: 278) y se encuentra presente en todos los continentes. También es importante recordar que el derretimiento de los casquetes polares puede conllevar el resurgimiento de enfermedades hasta ahora consideradas como extintas (Línea Verde, 2022:1-2).

Algunos autores consideran que la pandemia de Covid-19, así como otras enfermedades infecciosas de los últimos años como el SARS, el MERS y el Zika tienen un estrecho vínculo con la destrucción de hábitats y la pérdida de la biodiversidad. Así mismo existen pruebas de que enfermedades como la rabia, la malaria o el ébola se relacionan con la deforestación, debido a que esta propicia el

contacto de los humanos con algunos animales considerados reservorio de estas enfermedades como son los murciélagos o los primates. (Hernández, 2020: 4; Fernández, Ronquillo y Cuerdo, 2023: 58).

Por otro lado, las olas de calor y de frío tienen un gran impacto en la salud pública, debido a que pueden agravar las enfermedades cardiovasculares y respiratorias. Se estima que las muertes por olas de calor severas aumentarán de forma dramática, particularmente en las regiones tropicales y subtropicales, seguidas por Australia, Europa y Estados Unidos. Por ejemplo, se calcula un aumento del 471% en las muertes causadas por olas de calor en las ciudades de Brisbane, Sydney y Melbourne (Australia) en comparación con los años de 1971-2010 (Greenpeace y Ojea, 2018: 41, 43-44). Las altas temperaturas también agravan problemas de salud mental, enfermedades infecciosas, neurodegenerativas, aumento de partos prematuros y recién nacidos con bajo peso, así como enfermedades transmitidas por alimentos (Fernández, Ronquillo y Cuerdo, 2023: 58; Favier y otros., 2019: 276).

En lo que respecta a los desastres naturales meteorológicos, se estima que cada año generan más de 60 000 muertes, principalmente en países en desarrollo. Entre los años 2005 y 2014 hubo un promedio de 335 desastres relacionados con el clima, los más fuertes fueron los hidrológicos y meteorológicos que propiciaron más del 73% de daños y el 5.6% de defunciones (Favier y otros., 2019: 277). De igual forma éstos están implicados con consecuencias para la salud mental y el bienestar humano (IPCC c,2014:6).

Los incendios tienen diversos impactos en la salud, por un lado, causan deforestación, degradación y conversión de ecosistemas, por lo que pueden propiciar la aparición de nuevas enfermedades y por el otro lado, pueden generar graves repercusiones en la salud debido a la exposición continua al aire tóxico que emanan. (Hernández, 2020:11). También se prevé que la mala calidad del aire generará un incremento en las enfermedades no transmisibles como cáncer de pulmón y accidentes cerebrovasculares (Fernández, Ronquillo y Cuerdo, 2023: 58).

Las áreas urbanas situadas en regiones bajas son especialmente vulnerables a impactos en la salud por el cambio climático, debido principalmente a las concentraciones de ozono y a los estados previos de malnutrición de su población (Moreno, 2010; 24; IPCC, 2007; 48). La pobreza agrava estos efectos, siendo los habitantes de los países más pobres y las comunidades previamente marginadas los más afectados (ONU-HABITAT, 2011: 36; Palacios, 2016: 17).

Finalmente, las medidas para reducir la vulnerabilidad específicamente relacionada con la salud a corto plazo se basan en la aplicación de programas para mejorar las medidas de salud pública, el suministro de agua limpia y saneamiento, servicios de vacunación y salud infantil, mejorar la respuesta a los desastres y el alivio de los niveles de pobreza (IPCC c, 2014: 19).

### *Energía*

El sector energético cumple dos papeles fundamentales en el cambio climático, la primera es en ser parte del origen del problema y el segundo es en su mayor potencial para la mitigación de este y en las medidas para enfrentarlo (Girardín, 2018: 11). Al mismo tiempo, actualmente el cambio climático ha afectado el suministro de combustible, la producción de energía y la resiliencia física de la infraestructura energética actual y futura (OMM, 2022). Siendo en el mundo, el consumo de energía es responsable de la mayor fuente de emisiones de GEI derivada de actividades humanas (Greenpeace y Ojea, 2018: 47).

El calentamiento global también tendrá impactos y repercusiones en el sistema eléctrico (Greenpeace, 2018: 47). La disminución de las precipitaciones y el retiro de glaciares entre otros aspectos generan la disminución del agua y por lo tanto crea una irregularidad en la captación de esta, lo que impacta de manera directa a la hidroenergía (López y Moscoso, 2016: 10-11). Las centrales hidroeléctricas son una gran aportación como tecnología limpia de respaldo, además de no emitir  $CO_2$  (Greenpeace y Ojea, 2018: 47). Para el año 2020, el 11% de la capacidad hidroeléctrica estaba en zonas con gran estrés hídrico y aproximadamente el 26%

de las presas hidroeléctricas existentes, así como el 23% de las previstas se encuentran en cuencas fluviales con riesgo entre medio y muy alto de escasez de agua (OMM, 2022).

Para la energía térmica, por biomasa, nuclear y solar el aumento de la temperatura reduce su eficiencia general (López y Moscoso, 2016: 10-11), debido a que al estar más caliente el agua, se tienen más dificultades para refrigerar las centrales térmicas, lo que a su vez ocasiona paros de operaciones por seguridad, así como el calentamiento excesivo de lo que se vierte en los ríos (Greenpeace y Ojea, 2018: 47). Además, las centrales nucleares dependen del agua no sólo para su refrigeración, sino que por lo general suelen estar ubicadas en zonas costeras bajas, lo que las vuelve particularmente vulnerables al aumento del nivel del mar y las inundaciones relacionadas con el clima. Tal es el caso de la central nuclear de Turkey Point, en Florida (Estados Unidos), amenazada en los próximos decenios con el aumento del nivel del mar (OMM, 2022).

Para el año 2020, el 87% de la electricidad mundial generada por sistemas térmicos, nucleares e hidroeléctricos dependía directamente de la disponibilidad de agua. El 33% de las centrales termoeléctricas que dependían de la disponibilidad de agua dulce para el mismo año se encuentran en zonas de alto estrés hídrico, es el mismo caso del 15% de las centrales nucleares existentes para la misma fecha, y se estima que para el año 2040 dicho porcentaje aumente a 25% (OMM, 2022).

Al mismo tiempo, el aumento de la temperatura, cambios en la humedad, aumento del nivel del mar, acidificación del océano, incendios y el aumento en la frecuencia de eventos catastróficos generan impactos negativos en la producción, distribución y consumo de energía. La infraestructura puede verse dañada o el abastecimiento de combustibles interrumpido debido a los eventos extremos, al mismo tiempo que el aumento de la temperatura limita la potencia de la distribución de líneas elevadas, bajo tierra y transformadores (López y Moscoso, 2016: 7-8).

Los eventos extremos también suelen tener impactos en las líneas de distribución de energía, lo que a su vez tiene impactos económicos debido a que éstas representan una fuerte inversión de capital y suelen durar hasta 50 años. Mientras tanto, el aumento de las temperaturas también limita la potencia de distribución en las líneas elevadas, bajo tierra y de transformadores aumentando las pérdidas del sector (López y Moscoso, 2016:7).

Por lo tanto, el cambio climático impacta en la seguridad y calidad del suministro de energía eléctrica y en los combustibles necesarios para todos los sectores productivos (Zamora, 2015: 4), principalmente el transporte, iluminación, calefacción, industria y la demanda de electricidad para uso doméstico (Fernández, 2009: 179).

La energía renovable junto con la eficiencia energética podría reducir la dependencia a combustibles fósiles en un 70% para el año 2040 (WWF, 2011: 46). Y en este sentido existen una serie de acciones y estrategias que proponen algunos autores con la finalidad de avanzar hacia cero emisiones netas y al mismo tiempo garantizar los requerimientos de energía mundiales, los cuales son; sustituir los combustibles fósiles por combustibles limpios/renovables como biocombustibles, buscar la electrificación o utilización de energía solar térmica, electrificar el transporte, generar energía in situ a través de paneles solares, buscar suministro calificado de energía renovable, compra de certificados por generación de energía renovable, simplificar las cadenas de producción y distribución de productos, buscar un modelo de compras públicas sostenibles, impulsar la economía circular y los modelos regenerativos entre otras (Arno van den Bos, 2023: 3-10).

### *Turismo*

El turismo se define por la Organización Mundial del Turismo (OMT) como las actividades de los visitantes y excursionistas o visitantes de día durante una estadía menor de 12 meses (Rubio, 2020: 909). También puede definirse como el conjunto de desplazamientos que generan fenómenos socioeconómicos, políticos, culturales

y jurídicos, el ejercicio del derecho a la libertad de tránsito, un fenómeno social dado de desplazamientos voluntarios y temporales con motivos de recreación, descanso, cultural o salud (Morrillo, 2011:141-142).

La actividad turística promueve el crecimiento económico y la inversión a nivel local, lo que a su vez genera oportunidades laborales, distribución de rentas e impulso a otras actividades regionales como la agricultura, pesca y artesanía en las localidades receptoras. De acuerdo con la Organización Mundial del Turismo (OMT) el 35% de las exportaciones a nivel mundial son generadas por este sector, siendo en países menos desarrollados hasta el 70% de sus exportaciones (Morillo, 2011: 136).

Este sector tiene una íntima relación con el medio ambiente y el clima, y junto con otros sectores como la agricultura, la energía, el transporte y los seguros se encuentra ligado a los factores climáticos (PNUMA, 2007, 4; da Cruz, 2009: 484), de hecho, algunos autores como Moreno (2015: 50), consideran al turismo como un sector totalmente dependiente del clima. En este sentido se espera que el clima, el medio ambiente y la seguridad personal se vean afectados a escala regional por el cambio climático, siendo que estos tres factores son básicos para la elección de los destinos turísticos (PNUMA, 2007:13).

De igual forma. El turismo puede clasificarse en turismo vacacional (de sol y playa y turismo de montaña), turismo especializado (de aventura, científico y salud) y, de afinidad (deportivo, negocios, religioso, estudiantil, congresos y convenciones y gastronómico entre otros) (Morrillo, 2011: 145). La Figura 6 muestra algunos de los impactos esperados derivados del cambio climático para los diferentes tipos de turismo, siendo que el cambio climático tendrá impactos regionales que tendrán efectos directos en los destinos turísticos y los turistas (PNUMA, 2007:4)

Además, de acuerdo con un estudio realizado para el año 2019 en 181 países se enlistan como los destinos de menor riesgo para el turismo aquellos localizados en el oeste y norte de Europa, Asia Central, Canadá y Nueva Zelanda, mientras los de

mayor riesgo se ubican en África, Oriente Medio, Sur de Asia, los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo (SIDS) del Caribe, Océano Índico y Océano Pacífico (da Silva y Marengo, 2020: 872).

**Figura 6. Ejemplos de impactos del cambio climático en los diferentes tipos de turismo.**

Turismo de sol y playa	Turismo de montaña, naturaleza y rural	Turismo cultural y de ciudad
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Desplazamiento y desestacionalización de la temporada turística.</li> <li>•Estrés hídrico.</li> <li>•Pérdida del atractivo turístico por el incremento del nivel del mar y fenómenos como ciclones tropicales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Pérdida de atractivo turístico por cambios en la estructura del paisaje y biodiversidad.</li> <li>•Dificultad de acceso por daños en la infraestructura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Pérdida de atractivo turístico por aumentos de temperatura.</li> <li>•Estrés hídrico</li> <li>•Daño en atractivos culturales.</li> </ul>

Fuente: Retomado de Ferreira y Santos, 2021: 6.

A su vez, el turismo puede relacionarse con el cambio climático de múltiples maneras, una de ellas procedente de su responsabilidad en la emisión de dióxido de carbono y por lo tanto siendo un factor impulsor del calentamiento global, y por otro lado, en los impactos socioculturales y ambientales presentes en todos los destinos turísticos (da Cruz, 2009: 478). Las emisiones de GEI del sector son dadas por 40% por el transporte aéreo, 32% por el transporte terrestre, 3% otros modos de transporte 21% por el sector de hospitalidad y 4% de entretenimiento (da Silva y Marengo, 2020: 868) siendo el transporte y el equipamiento los mayores generadores de dióxido de carbono (Rubio, 2020: 906).

De acuerdo con el Sánchez y Dalle (2005: 31), el clima influencia al turismo en tres niveles principales, el primero se da en la localización turística, debido a que el clima puede facilitar o impedir el asentamiento de actividades turísticas, segundo, el clima se incorpora a un bien o servicio turístico, por lo que su modificación imposibilita el desarrollo de determinadas actividades (sol y playa, turismo de nieve o náutico) y tercero, el clima aporta calidad a la práctica turística y genera niveles óptimos de disfrute, seguridad y confort.

En consecuencia, el cambio climático modificará las relaciones de competitividad entre destinos turísticos debido a que muchos de estos basan sus principales puntos de atracción en sus recursos naturales y el clima. En este sentido, los impactos del cambio climático tanto en la competitividad como en la sustentabilidad de los destinos turísticos se dividen en dos; los impactos directos, que modifican la estacionalidad y por lo tanto redistribuyen los flujos turísticos y modifican los costos de operatividad de las empresas y, los impactos indirectos, que modifican el medio ambiente y los aspectos culturales (da Cruz, 2009:484-485).

Por lo tanto, el turismo presenta sensibilidad al clima en diferentes aspectos como: la alta concentración geográfica de los destinos turísticos, en el establecimiento de calendarios vacacionales, en el tipo de edificaciones e infraestructuras turísticas, en el transporte y desplazamientos turísticos y en el reclamo turístico de horas de sol y temperaturas favorables en el destino turístico (Sánchez y Dalle, 2005: 31).

Como resultado, los ambientes costeros y marinos son los más populares y al mismo tiempo este tipo de territorios son los más vulnerables al cambio climático debido a eventos extremos y al aumento del nivel del mar (Moreno, López y Marín, 2015: 76). En esta línea, el aumento del nivel del mar generará inundaciones permanentes y daños en las infraestructuras turísticas. Los sistemas costeros, en especial los deltas, las desembocaduras de ríos, estuarios y marismas serán los que reciban los principales efectos del cambio climático como las inundaciones costeras, la erosión por aumento del nivel del mar y cambios en el oleaje (Greenpeace y Ojea, 2018, 49).

Por otro lado, los destinos turísticos de nieve son particularmente vulnerables al calentamiento global por ejemplo las estaciones de esquí (Greenpeace y Ojea, 2018, 50). Esto se debe a las alteraciones en los patrones de precipitaciones de nieve y el acortamiento e irregularidad de las temporadas (Sánchez y Dalle, 2005: 32). También, como anteriormente ya se ha mencionado, el cambio climático generará un aumento en el riesgo de enfermedades en varias partes del mundo, lo

que probablemente influirá en la redistribución del flujo de turistas (da Cruz, 2009: 484).

Las afectaciones del cambio climático en el turismo se traducirán en un impacto económico (Moreno, López y Marín, 2015: 76). Los impactos más negativos y directos se verán en las empresas situadas en los destinos más vulnerables, con impactos directos en el ámbito laboral (Sánchez y Dalle, 2005: 34).

### *Agricultura, ganadería y pesca*

Los sectores agropecuario, ganadero y pesquero serán de las actividades más afectadas por el cambio climático debido a su estrecha relación con el clima, su sensibilidad a los cambios de temperaturas y necesidad de agua y luz solar (Greenpeace y Ojea, 2018:50).

Por ejemplo, se prevé que la agricultura sea el sector con el mayor impacto económico derivado del cambio climático debido a que depende en gran medida de factores climáticos como la temperatura, las precipitaciones y la luz solar, aunado a su sensibilidad a fenómenos climáticos como sequías, inundaciones, heladas y granizadas (López y Hernández, 2016: 467; IFPRI, 2009: 7; Welz y Krellenberg, 2016: 262). En este sentido, la agricultura se enfrenta también a problemas preexistentes como la degradación del suelo y la contaminación de los recursos hídricos, los cuales se verán exacerbados por las variaciones en las precipitaciones y el aumento de temperaturas (CEPAL, 2010: 13). Solamente en el siglo XX, el número de variedades de cultivos descendió drásticamente lo incrementa el riesgo en la capacidad de adaptación, vulnerabilidad genética y la diversidad nutricional (FAO, 2017:32).

Los cambios en la distribución de precipitaciones propiciarán con mayor frecuencia la reducción de producción a largo plazo y afectarán la seguridad alimentaria mundial. El aumento de las temperaturas disminuirá la producción de los cultivos mientras al mismo tiempo generarán una proliferación de pestes y malas hierbas, lo

que conllevará un aumento de contaminación por el uso de pesticidas (IFPRI, 2009; 7; Greenpeace y Ojea, 2018:50; AEAC.SV, 2021: 28). El aumento de la erosión del suelo y la pérdida de la capacidad de retención de agua resultará en la reducción de la superficie óptima para el desarrollo de cultivos, así como la pérdida de especies autóctonas, la degradación de los suelos y el abandono de la tierra. Al mismo tiempo, estos factores pueden provocar la reducción de la calidad de los cultivos, un descenso de su rendimiento y daño en los granos debido al estrés térmico (AEAC.SV, 2021: 26-29). Finalmente, el aumento de eventos climáticos extremos como inundaciones, sequías y la salinización debido al aumento del nivel del mar causarán daños adicionales a las cosechas y acelerarán la desertificación en muchas áreas (AEAC.SV, 2021: 30-31).

El sector agrícola más afectado se localizará al interior de los países en desarrollo, y los pequeños agricultores con bajo acceso a tecnologías y recursos para la adaptación. Se estima que la producción agrícola podría disminuir entre un 11% y un 18% si no se implementan medidas de adaptación adecuadas como contemplar cambios en el tipo de cultivo, combinación o mezcla de estos y un aumento en la inversión económica (López y Hernández, 2016: 467,468, 476).

Además, el impacto del cambio climático en la agricultura se ve agravado debido a que es una de las principales actividades humanas, no sólo de supervivencia sino también económica, por lo tanto, tendrá implicaciones en la producción de alimentos, la economía y la estabilidad social, así como en la seguridad alimentaria y la volatilidad en los precios. (Hernández, Bonales y Ortiz, 2014: 32-34; López y Hernández, 2016: 467; CEPAL 2010:13).

En cuanto a las emisiones de GEI, de la agricultura contribuye significativamente en la emisión de gas metano ( $CH_4$ ) y óxido nitroso ( $N_2O$ ) procedentes de la descomposición de materiales orgánicos y la transformación del nitrógeno en el suelo. En 2007, la agricultura emitió el 9.2% del total de GEI y se estima que para

2024 su participación oscilará entre el 19% y el 29% del total de emisiones globales (AEAC.SV, 2021:19-20; Banco Mundial, 2024).

Con respecto a la ganadería, esta se ve afectada directamente por el cambio climático, ya que los fenómenos climáticos extremos como sequías, inundaciones y episodios de temperaturas extremas influyen en la salud animal y generan nuevos problemas sanitarios por las modificaciones en las enfermedades por vectores, variaciones en la fisiología y comportamiento animal y cambios hormonales. Esto a su vez disminuye la fertilidad y la producción de leche y carne, reduce el rendimiento de pastos y forrajes e incrementa de la mortalidad animal (UPA, 2018: 8; Greenpeace, 2018: 52,53). Por ejemplo, en los países de África subsahariana, durante los últimos 30 años, entre el 20 y el 60% de las pérdidas de animales se registraron durante episodios de sequías (FAO, 2017:33).

Otros autores clasifican en cuatro los factores en los cuales el cambio climático podría afectar la ganadería, estos son: agua, forrajes, biodiversidad y salud. La escasez de agua afectará en mayor medida a los pequeños productores ganaderos en el mundo, en cuanto a los forrajes, el cambio climático impactará su disponibilidad, composición y valor nutritivo, la desertificación afectará la biodiversidad tanto vegetal como animal y la salud se verá afectada por el aumento de enfermedades y plagas tanto en humanos como en animales (Jiménez y y otros., 2015: 56). Estos efectos toman mayor importancia considerando que la producción ganadera representa el 40% de la producción agrícola mundial y contribuye a la economía y seguridad alimentaria de casi 1000 millones de personas en el mundo. Además del ganado se derivan la industria de la leche y la carne (FMCN, 2022: 3).

De manera general, se estima que la ganadería aporta el 14.5% del total de emisiones de GEI a nivel planetario derivadas del cambio de uso de la tierra, la producción, el procesamiento, empaçado y distribución de los productos cárnicos. De estas emisiones, un 43% corresponde a la producción, procesamiento y transporte, un 43% a la fermentación entérica y el 9% del óxido nitroso y el metano

en la gestión de deyecciones animales (Del Prado y Manzano, 2020:13; Viglizzo, 2023: 8,14). Siendo que dos tercios del total de emisiones de la ganadería se derivan de la ganadería bovina (carne de res y leche) (FAO, 2018: 3).

Entre las medidas de adaptación y mitigación propuestas para la ganadería están la mejora en la dieta del ganado para reducir las emisiones, la selección de pastos adecuados, la mejora del bienestar animal, y la integración de la ganadería en una economía circular que ayude a reducir el impacto ambiental (UPA, 2018: 15-60; FAO, 2018: 3-4). Además, la restauración de la calidad de los pastizales, que cubren un 68% del área agrícola mundial y representan un sumidero de carbono, podría contribuir a reducir la presión de la ganadería en las emisiones de GEI, así mismo, se estima que únicamente mejorando las prácticas de cría se pueden reducir entre un 20 y un 30% las emisiones en todos los sistemas de producción ganadera (FAO, 2018: 4)

Por otra parte, los recursos marítimos y las zonas pesqueras son muy sensibles al cambio climático, ya que las alteraciones en la temperatura del mar, las corrientes marinas, vientos, acidificación y lluvias generan impactos en la distribución y abundancia de las especies modificando la composición, estructura y dinámica de las comunidades incluyendo la productividad y por ende en la seguridad alimentaria y medios de subsistencia (Moreno, López y Marín, 2015: 79; CEPAL, 2009: 22; Greenpeace y Ojea, 2018: 53; FAO, S/A, 2). Estos efectos serán heterogéneos, algunos países podrían beneficiarse mientras otros serán perjudicados (FAO, S/A: 2).

La elevación del nivel del mar y las disminuciones de los caudales en aguas continentales generan la intrusión de agua salada en los deltas, lo que impacta a las pesquerías costeras y los criaderos para especies comerciales (Moreno, López y Marín, 2015: 79). El cambio climático sumado a la sobrepesca al ritmo actual podría propiciar la devastación de la fauna marina, se estima que, el potencial de captura en los océanos podría disminuir hasta un 12% para 2030, y hasta un 20%

para 2050, sin embargo, en regiones como el Atlántico Norte y el Pacífico Occidental las reducciones podrían ser de hasta un 60% y 50% respectivamente (Greenpeace y Ojea, 2018: 53).

Además, el aumento de la temperatura del mar propiciará que algunas especies nativas no sobrevivan, mientras que especies invasoras se expanden (Greenpeace y Ojea, 2018: 53). Los arrecifes de coral se degradarán y generarán la acidificación de los mares, por lo tanto, serán más sensibles a amenazas como la pesca excesiva, la contaminación, el turismo y las especies invasoras (FAO, S/A, 3). También, se redistribuirán las especies de plancton, se generará un efecto en la proporción de sexos en las poblaciones ícticas (peces), y se alterarán las fechas de desove, reclutamiento y migración (FAO y CESSO, 2021: 56). Esto desestabilizará de los medios de vida debido a las afectaciones que se generan tanto en la disponibilidad como en la calidad del pescado (FAO, 2017: 33).

Por otro lado, el estrés hídrico y el incremento de sequías derivado del cambio climático llevará los caudales y niveles de ríos y lagos a niveles mínimos, lo que disminuirá la productividad (FAO y CESSO, 2021: 56) y supondrá la disminución de la pesca continental (Greenpeace, 2018:53).

La principal posibilidad de mitigación de emisión de GEI tanto en la pesca como o en la acuicultura se encuentra en la reducción del uso de combustibles y energía de manera directa e indirecta en el sector (FAO, 2017: 33). Finalmente, se puede concluir que los servicios ecosistémicos para la sociedad a los que afectará el cambio climático en este rubro serán: la producción de alimentos, disponibilidad de agua potable regulación del cambio climático mediante el secuestro de carbono, riesgo de modificación de la zona costera, disminución de la biodiversidad, baja de los sectores de turismo y comercio entre otros (FAO y CESSO, 2021: 57).

## *Alimentación*

El crecimiento demográfico mundial y el cambio en los regímenes alimentarios han ocasionado un incremento en la demanda de alimentos, aunado a esto, la disminución de la producción derivada de la baja en el rendimiento de los cultivos, el deterioro de los recursos naturales y la vulnerabilidad de la agricultura al cambio climático, han provocado un gran impacto en la seguridad alimentaria (Banco Mundial, 2024). Únicamente desde el año 2006 al año 2050, se espera que la demanda mundial de alimentos aumentará un 60% (Greenpeace y Ojea, 2018: 57).

De manera general, la disminución en la producción agropecuaria a pesar de los avances tecnológicos, genera un desequilibrio en el mercado de alimentos, la demanda supera su oferta, como consecuencia se genera inflación, incremento de la pobreza y hambruna, a lo que se le puede denominar como crisis alimentaria, actualmente la magnitud de éste problema ya afecta a una gran parte de la población mundial, en el año 2008, la población que vivía en hambruna aumentó de 800 millones a 1000 millones, lo que representaba el 15% de la población mundial. Se espera que la crisis alimentaria se agrave en medida que el cambio climático se haga más evidente, a lo que se le denomina coste nutricional del cambio climático (Greenpeace y Ojea, 2018: 58).

También, el cambio en cantidad y calidad del agua impactará en la producción, disponibilidad, acceso y utilización de alimentos, lo que aminorará la seguridad alimentaria y afectará a los sectores sociales más pobres tanto en zonas rurales como urbanas. Situación que será más grave en zonas tropicales áridas y semiáridas de Asia y África (Sánchez, 2010; 26-27). Los impactos más graves se darán en las regiones en las que predomina la agricultura familiar de autoconsumo (CAF, 2023: 43).

En este sentido, el cambio climático se relaciona directamente con la seguridad alimentaria<sup>4</sup> y por ende con la nutrición de millones de personas principalmente para la población en situación de pobreza y particularmente a mujeres y niños (FAO, 2017: 31). La seguridad alimentaria depende de diversos factores como son; la tenencia de la tierra, producción agropecuaria, condiciones biofísicas de la producción, sistemas de salud, empleo e ingresos monetarios, precios de los alimentos y educación nutricional y de salud entre otras (Casas y Moreno, 2014: 5).

Para el año 2022 la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), estimó que alrededor de un millón de personas se encontraban en riesgo de inanición, el doble de las reportadas para el año 2021, al mismo tiempo, 222 millones de personas experimentaron niveles elevados de inseguridad alimentaria (Morales, 2023).

Además, el cambio climático está afectando la calidad de los alimentos. Investigaciones señalan que el aumento del dióxido de carbono está reduciendo la calidad nutricional de cultivos como el trigo y el arroz, aumentando los carbohidratos pero disminuyendo nutrientes esenciales como el zinc y el hierro (Greenpeace y Ojea, 2018: 58).

La seguridad alimentaria está estructurada en cuatro dimensiones, todas ellas afectadas por el cambio climático: disponibilidad, estabilidad, acceso y utilización (FAO y CESSO, 2021: 64). La disponibilidad de alimentos disminuirá debido al bajo rendimiento en los sectores agrícola, ganadero y pesquero, afectando especialmente a regiones como África subsahariana y Asia meridional, donde la inseguridad alimentaria ya es una realidad (FAO, 2017: 30).

---

<sup>4</sup> La seguridad alimentaria es el acceso físico o económico en todo momento de alimentos nutritivos, inocuos y suficientes para satisfacer las necesidades dietéticas y de su preferencia para una vida activa y saludable. La seguridad alimentaria tiene cuatro dimensiones que son: disponibilidad, estabilidad, accesibilidad y utilización (FAO, 2007: 4).

El acceso a los alimentos también se verá afectado por las variaciones en el poder adquisitivo de los consumidores, especialmente en las personas más vulnerables y en condición de pobreza (FAO, 2017: 30-31). El índice de precios de los alimentos incrementó de 90.2 en el año 2000 a 230.7 en el año 2011 (Vargas, 2011: 147-148, 152, 153, 156). Se estima, que para el año 2030 hasta 122 millones más de personas en todo el mundo podrían vivir en condiciones de extrema pobreza debido a los efectos del cambio climático (FAO, 2017: 13).

En cuanto a la utilización de los alimentos, se espera que el cambio climático modifique su inocuidad, lo que aumentará la incidencia de enfermedades transmisibles por estos (FAO, 2017: 30). El cambio climático, al favorecer la incidencia de enfermedades, provocará también que la capacidad del cuerpo para absorber nutrientes sea disminuida. Al mismo tiempo, para contrarrestar las plagas y enfermedades de animales y plantas, el uso de plaguicidas incrementará, así como el uso de antibióticos, con sus posibles efectos en la salud y la contaminación (FAO, 2017: 31-32).

Por último, la estabilidad de los alimentos se ve comprometida por las perturbaciones y crisis derivadas de los fenómenos meteorológicos extremos provocados por el cambio climático (FAO 2017: 31). Se calcula que los eventos climáticos extremos provocan una pérdida anual de 129 839.75 millones de dólares de cultivos agrícolas y ganado, lo que equivale al 5% de toda la producción mundial, estas pérdidas se deben 26% a temperaturas extremas, 19% a sequías, 26% a inundaciones y 10% a incendios (Forbes, 2023).

De manera específica, el riesgo más importante derivado del cambio climático en la seguridad alimentaria es el aumento en intensidad y frecuencia de fenómenos extremos, como tormentas, inundaciones y sequías entre otros, debido a sus afectaciones en pérdidas de la producción agrícola y el poder adquisitivo de las personas con bajos ingresos (FAO, 2007:20), por lo tanto, es importante buscar medidas tanto de mitigación como de adaptación del sector agropecuario.

El cambio climático afecta todas las dimensiones de la seguridad alimentaria. Las alteraciones en las precipitaciones y temperaturas impactan la producción de cultivos y la calidad de los alimentos, mientras que los eventos extremos reducen la estabilidad de los sistemas alimentarios. Para enfrentar estos desafíos, es necesario desarrollar políticas y acciones que fortalezcan la seguridad alimentaria y ayuden a la adaptación de los sistemas de producción a los nuevos escenarios climáticos.

### *Calidad del aire*

La calidad del aire se degrada si la concentración de ciertos contaminantes atmosféricos se eleva por encima de los límites establecidos (Fundación Rapsol, 2020: 4). El cambio climático y la calidad del aire se encuentran relacionados entre sí, particularmente en lugares como las ciudades, debido a la concentración de dichos contaminantes atmosféricos como el óxido de azufre ( $SO_x$ ), óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), ozono troposférico ( $O_3$ ) o monóxido de carbono ( $CO$ ), superan los valores límites establecidos (Greenpeace, 2018: 59). Siendo las principales fuentes de emisiones de dichos contaminantes el transporte, consumo energético poco eficiente, generación de electricidad con combustibles contaminantes y la falta de residuos municipales y agrícolas (Querol, 2018: 3).

Como se puede apreciar, la calidad del aire es afectada principalmente por la demanda mundial de energía, siendo las ciudades las principales consumidoras de ésta y por lo tanto las principales emisoras de GEI (Fundación Repsol, 2020: 16). Respirar este tipo de contaminantes perjudica la salud de las personas (Greenpeace y Ojea, 2018: 59).

Por otro lado, la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera la contaminación del aire como un severo riesgo medioambiental para la salud, y calculaba que para el año 2016 el 92% de la población mundial vivía en lugares donde no se respetaban los valores guía de la calidad del aire, estimando que al año había cerca de tres millones de defunciones prematuras por esta causa en el

mundo (Querol, 2018: 3). De estas, se estima que alrededor de 17 000 muertes al año fueron causadas en la Unión Europea por la contaminación de ozono troposférico y para el año 2014 se contabilizaron hasta medio millón de muertes prematuras por contaminación atmosférica únicamente en países europeos (Greenpeace y Ojea, 2018: 59). Siendo que la mala calidad del aire se asocia a enfermedades como: cáncer de pulmón, enfermedades cardíacas y enfermedades respiratorias como el asma (Ortego, Valero y Círez, 2019: 21).

De acuerdo con la OMS, el 23% de las muertes mundiales al año son dadas por la contaminación, siendo los más afectados por dichos riesgos ambientales los niños menores de 5 años y los adultos mayores de 50 años. También se calcula que para el año 2018, 7 millones de personas morían al año por contaminación del aire, de los cuales 4.3% eran pertenecientes a los países pobres y se derivaron del uso de madera y carbón para calefacción o cocina. Las regiones más afectadas en el mundo son Asia Sudoriental y el Pacífico Occidental, siendo la India la sede de 6 de 10 de las ciudades más contaminadas en el mundo (Llanos, 2018:26-27).

Finalmente, se calcula que sólo el 12 % de la población mundial vive en lugares con aire limpio (Llanos, 2018: 28). Es por esto, que se deben considerar una serie de medidas que ayuden a mitigar las emisiones de GEI, como son: fomentar la movilidad sostenible, implementar medidas de eficiencia energética en las edificaciones, habilitar zonas verdes en las ciudades, desarrollar planes urbanos con restricciones de acceso en determinadas zonas centrales y la implementación de sistemas de tratamiento de residuos (Fundación Repsol, 2020: 16).

### **1.2.3 Efectos del cambio climático en América Latina y el Caribe**

América Latina y el Caribe (ALC) es una región del continente americano que comprende 33 países y 13 territorios dependientes y departamentos de ultramar. Para el año 2022 la población total de esta región fue de aproximadamente 662 millones de habitantes lo que representaba el 8.2% de población mundial y se proyecta que alcanzará su población máxima para el año 2056 (Bárcena y otros,

2020) también representa el 13% de la superficie terrestre del mundo (Gutiérrez y Presbítero, 2023).

El cambio climático amenaza en menor o mayor medida a los países de América Latina a partir de impactos físicos y biológicos que generan consecuencias sociales, medioambientales y económicas. Entre estos impactos se encuentran el incremento de temperaturas medias y extremas, cambios en los patrones de precipitación, elevación del nivel del mar y cambios en los fenómenos extremos entre otros (CAF, 2013). Debido a su heterogeneidad, tanto en su geografía y biodiversidad, como en sus condiciones socioeconómicas, la región se verá expuesta a diferentes amenazas climáticas. Su vulnerabilidad al cambio climático se verá agravada debido a las condiciones de desigualdad, pobreza, crecimiento demográfico, alta densidad poblacional urbana, cambio de uso de suelo y la deforestación preexistentes, así como escasos recursos financieros, técnicos, humanos e institucionales para hacerles frente (CAF, 2023; Gutiérrez y Presbítero, 2023; Samaniego, 2009; Bárcena y otros, 2018; CAF, 2013). Por tanto, se puede decir que el impacto del cambio climático en América Latina y el Caribe es significativo, no lineal y heterogéneo (Bárcena, 2020).

De manera paradójica, los países que producen una menor cantidad de emisiones de GEI, serán los que albergan los sistemas naturales y humanos más afectados debido a la prevalencia de medios de sustento menos seguros, dependencia de recursos naturales, marginación y vulnerabilidad al hambre y pobreza, entre otros (Soares y Gutiérrez, 2011). Latinoamérica representa aproximadamente el 8% de las emisiones globales totales (PNUD, 2022), sin embargo, sufrirá muchas de las consecuencias del cambio climático global (Honty, 2007). Se estima que éste tendrá un costo para la región de entre el 1.5% y el 5% del PIB actual en caso de que la temperatura promedio aumente 2.5°C (Bárcena y otros., 2020).

De acuerdo con Barboza (2013), los efectos del cambio climático son ya evidentes en esta región. La Corporación Andina de Fomento (CAF) identifica siete áreas

críticas en ALC, las cuales son; elevación del nivel del mar, fenómenos climáticos extremos, inundaciones, deslizamientos de tierras y sequías; salinización de los acuíferos de agua dulce costeros; retroceso y desaparición de glaciares; alteración en los patrones de precipitación y; beneficios no anticipados pero aprovechables. Siendo los cambios en el régimen de precipitaciones atmosféricas y el aumento del nivel del mar los principales impulsores del riesgo en Mesoamérica y el Caribe (CAF, 2013; CAF, 2014). Se espera que los mayores impactos se presenten en países como Guatemala, Nicaragua, Honduras, Surinam, Costa Rica, El Salvador y Bolivia entre otros, mientras que los sectores más afectados serán la agricultura y la pesca (Gutiérrez y Presbítero, 2013).

En cuanto a la biodiversidad, cinco de los 20 países del mundo con mayor número de especies de fauna amenazadas se encuentran en la región, así como siete de los 20 países con mayor número de especies de plantas en riesgo. Por tanto, se puede observar que la biodiversidad de la región ya es vulnerable debido a la destrucción de los hábitats y la sobreexplotación de las especies, factores que se suman a los efectos del cambio climático (Bárcena y otros, 2020).

A su vez, las modificaciones en las precipitaciones y el aumento de la temperatura, aunado al proceso de deforestación de la selva amazónica, pueden causar que se supere un umbral crítico que provocaría daños irreversibles a la biodiversidad lo que a su vez tendría efectos colaterales en el clima (Bárcena y otros, 2020). Sólo en los últimos 15 años, la región ha perdido 96 millones de hectáreas de bosques (Bárcena y otros, 2018). A partir de 1998, se ha registrado una alta tasa de mortalidad de árboles, así como una reducción de la productividad forestal en la selva amazónica, derivada de las sequías y las altas temperaturas por el cambio climático (Gutiérrez y Presbítero, 2023). Sin embargo, aun con la disminución del área forestal, los bosques de la región de ALC contribuyeron con el 15% de la captura de carbono global anual para el año 2019, cifra que podría aumentar debido a que la región tiene el 25% de los bosques a nivel mundial (CAF, 2023: 71).

Por otro lado, la combinación entre el aumento de temperaturas, el calor extremo y la sequedad de los suelos generó un periodo de incendios forestales sin precedentes en el verano del 2022 en América Latina y el Caribe, lo que en una sucesión de hechos concatenados provocó que las emisiones de dióxido de carbono aumentaran a sus niveles máximos en los últimos 20 años y en consecuencia las temperaturas fueran aún más altas (ONU, 2023b). Y, aunque el principal detonante de los incendios forestales es de origen humano, cuando las temperaturas se encuentran por encima de los 38°C, las dimensiones y estragos de estos se exageran. Se prevé que el cambio climático aumentará en 14% las cifras de incendios en bosques para el año 2023 y hasta 50% para el año 2050 (Durán, 2023).

De acuerdo con la UNESCO, cerca de 40 millones de hectáreas de bosques se han incendiado en América Latina, lo que corresponde al 14% del área quemada en todo el mundo (Durán, 2023). Los incendios en Brasil arrasan con más de 8 mil  $km^2$  de bosques al año, lo que impacta en el stock de carbono de la cuenca del Amazonas. La mayor selva tropical del mundo está siendo devastada por los incendios y la deforestación, situación que acelera el cambio climático y genera que el clima de la región sea más seco y caluroso, lo que al mismo tiempo deja a los bosques más vulnerables a los incendios (Pessoa y otros, 2022).

Otro efecto es la pérdida de masas de hielo de los glaciares. En América Latina los glaciares varían su morfología, superficie y temperatura (Flores, 2023). A partir del año 1980, se ha registrado la pérdida del 30 al 50% de la superficie de los glaciares en los Andes, lo que tiene efectos en la escasez de agua tanto para la población como para los ecosistemas andinos (Gutiérrez y Presbítero, 2023). El glaciar Sierra Nevada el Cocuy en la frontera entre Colombia y Venezuela ha perdido en los últimos diez años perdió alrededor de 3  $km^2$ . debido al cambio climático. También en Colombia, la capa de nieve del Volcán Nevado Santa Isabel perdió el 77% de su área desde el año 2010 (Flores, 2023). De manera simultánea, Perú albergaba un conjunto de 2 mil 600 glaciares tropicales, y en la actualidad han perdido el 50% de

su superficie. Este proceso de deshielo ha generado la aparición de 3 mil nuevas lagunas y un incremento en el riesgo de inundaciones (Flores, 2023).

Como se puede observar, las masas de hielo de América Latina ya denotan los estragos y consecuencias del cambio climático y el aumento de temperatura atmosférica y del mar. Al ser los efectos del cambio climático una serie de acontecimientos concatenados, el derretimiento de los glaciares se encuentra enlazado de manera particular con el aumento del nivel del mar.

En este sentido, las costas de América Latina y el Caribe se enfrentan de manera inequívoca al aumento del nivel del mar y lo que generará cambios en las mareas, reducción de la defensa de costa de las playas, inundación de ecosistemas, aumento de la erosión costera y salinidad, aumento de la temperatura superficial del agua, mayor decoloración de los corales, variaciones en el oleaje, disminución de la operatividad de las infraestructuras portuarias y reducción del turismo (Bárcenas y otros, 2018).

Durante el periodo de 1950 a 2008 se registró un aumento del nivel del mar en América Latina de entre dos y siete milímetros, siendo el mayor aumento en el norte de Brasil y Venezuela y el menor en las zonas del Ecuador (Bárcena y otros, 2020). Mientras tanto, para el año 2021, el nivel del mar de las costas del Atlántico en América y en el Golfo de México registraron aumento a un ritmo mayor que el presentado en la escala mundial (Gutiérrez y Presbítero, 2023; ONU, 2023b).

De acuerdo con la CEPAL, se prevé que el mayor aumento entre los años 2010 y 2040 se dará en la costa atlántica, en especial en el norte de América del Sur y en las Islas Caribeñas, y se estima que para el periodo del 2040 al 2070 el ritmo de aumento del nivel del mar se acelerará a 3.6 mm por año (Bárcena y otros., 2020).

Para finales de siglo, las proyecciones estiman una elevación total del nivel del mar de entre 0.18 a 0.58 metros. Esta situación tendrá sus principales efectos en:

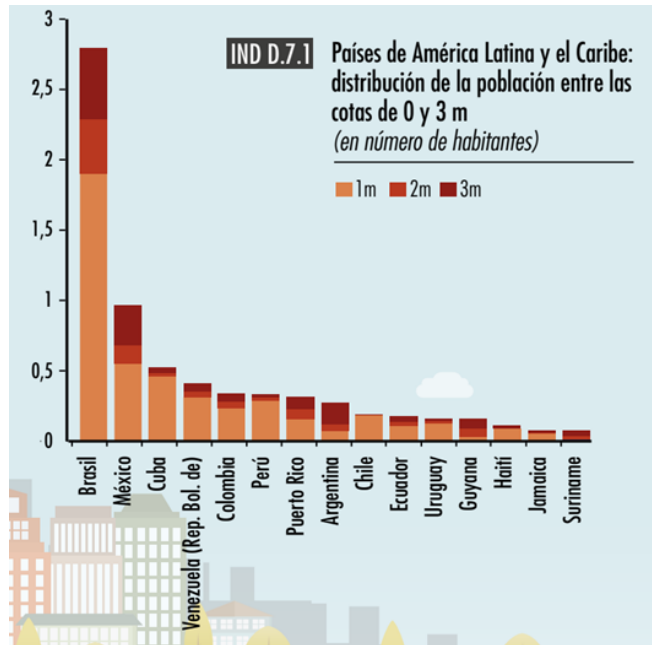
- Zonas costeras bajas (En países como El Salvador, Guyana y costa de la provincia de Buenos Aires).
- Posibles daños a inmuebles y disminución del turismo (en lugares como México y Uruguay).
- Cambios en la morfología costera (por ejemplo, en Perú).
- Daños a manglares (en Brasil, Ecuador, Colombia y Venezuela).
- Modificaciones en la disponibilidad de agua potable en la costa del Pacífico (Costa Rica, Ecuador y Río de la Plata).
- Impactos en arrecifes de coral mesoamericanos (México, Belice y Panamá), entre otros (Samaniego, 2009).

También, es preocupante pensar que 27% de la población de la región vive en áreas costeras y, entre 6% y 8% vive en áreas que tienen riesgo alto o muy alto a amenazas costeras (ONU, 2021). Los primeros 10 metros de superficie sobre el nivel del mar representan 3% del territorio de ALC y albergan 7% de la población, es decir, cerca de 45 millones de personas. Sólo en el Caribe, las costeras de baja elevación albergan el 12% de la población y representan el 20% de su superficie (CAF, 2023).

La Figura 7 muestra los países de América Latina y el Caribe y la distribución de la población en cotas de 0 y 3m, los cuales serán mucho más vulnerables al aumento del nivel del mar. Siendo Brasil es el país con mayor población habitando dentro de las cotas de 1, 2 y 3 metros, seguido por México y Cuba, lo que implica que su población está más expuesta y vulnerable al aumento del nivel del mar.

A su vez, los países más expuestos en la región al aumento del nivel del mar son Surinam, Bahamas y Guyana, con cerca del 90% de su población residiendo en terrenos de baja elevación (CAF, 2023).

**Figura 7. Países de América Latina y distribución de la población entre las cotas 0 y 3m (en número de habitantes 2016)**



Fuente: Retomado de Bárcenas y otros, 2018: 50.

En este sentido, las regiones en donde se encuentran numerosos países insulares en desarrollo, así como un alto porcentaje de población asentada en zonas costeras será más vulnerable a los efectos del alza del nivel del mar debido a la probable construcción de infraestructura asentada en el lugar (Bárcena y otros, 2020). Esta última, podría quedar debajo del nivel del mar para finales de este siglo, sin embargo, el principal costo económico del aumento del nivel del mar será en la pérdida de los beneficios de la aglomeración, así como en la relocalización de la población y actividades económicas a zonas más elevadas (CAF, 2023: 46, 47).

De acuerdo con Reyes (2021), para el año 2100 la costa oeste de México y la península de Yucatán podrían quedar por debajo del nivel del agua, siendo los terrenos de Quintana Roo, Yucatán, Campeche y Tabasco los más afectados. En el caso de Nicaragua y Honduras sus costas podrían quedar permanentemente por debajo de la línea de marea alta. Para Colombia destacan los daños previstos las áreas próximas a Barranquilla en el mar Caribe y en su frontera con Panamá en el

golfo de Urabá. En Venezuela las zonas entorno al Lago de Maracaibo y Tucupita será la más vulnerable al aumento del nivel del mar, así como Guayana, Surinam y Guyana Francesa. Para Argentina destacan la provincia de Entre Ríos y el Paraná en Buenos Aires en la bahía de Samborombón.

Otro efecto del cambio climático en la región es la desertificación. Un análisis con datos del periodo 2015-2019 reveló que ALC es la región del mundo con más tierras degradadas al año. Se perdieron cerca de 108 millones de hectáreas desde el año 2015 y actualmente 22% de la tierra de la región se considera como degradada (León, 2023). El clima es el principal factor del proceso de la desertificación en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas (Dascal, 2012: 7).

Tal es el caso de diferentes áreas con climas secos como lo son el centro y norte de Chile, la costa de Perú, el norte de Brasil y el noroeste de Argentina, así como grandes zonas de Mesoamérica en las cuales se prevé que el cambio climático conduzca a una salinización y desertificación de la tierra agrícola (Conde-Álvarez y Saldaña-Zorrilla, 2007). Para el año 2019 se habían degradado 378 millones de hectáreas en la región, lo que equivale tres veces al territorio de Colombia. (Monsalve, 2023).

En el caso de México para el año 2019, 72% de su superficie ya estaba afectada por la desertificación, lo que corresponde a 139 millones de hectáreas (Monsalve, 2023). En Argentina, para 2012, 10% de las tierras secas presentaban procesos de desertificación de nivel extremo, 25% de nivel fuerte, 38% moderado y únicamente 2% de estas tierras no presentaban afectaciones por desertificación. En Chile, las áreas semiáridas y áridas aumentarán 33% mientras que las zonas subhúmedas y húmedas disminuirán. En Colombia, se estima que la mitad de las tierras secas se encuentra gravemente desertificada (Dascal, 2012).

Por otro lado, en Paraguay las zonas degradadas corresponden al 72.52% del país (Dascal, 2012). Sin embargo, el caso de República Dominicana contrasta con la situación del resto de la región. Para el año 2019, 31% de la superficie de su

territorio se encontraba degradada y 96% afectada por la sequía. Pero en comparación con sus datos del año 2015 la degradación bajó del 49% al 31% debido a una ambiciosa meta de recuperación de suelos que busca restaurar 240 mil hectáreas en la cuenca del río Yaque del Norte y en áreas de producción de cacao en la provincia de San Francisco de Macorís (Monsalve, 2023).

En cuanto al aumento de la temperatura, en la región ya se ha observado un aumento de 0.7°C en el periodo 2000-2016 con respecto al promedio del periodo 1901-1990 (Bárcena y otros, 2020) y se proyecta que para los años 2021-2024 la temperatura media será 1°C más alta que en el periodo de 1985-2014 (CAF, 2023). El año 2020 para México, América del Sur y el Caribe fue uno de los tres años más cálidos de los que existen registro, con respecto a la media de 1881-2010 de 1°C, 0.8 °C y 0.6°C respectivamente (Gutiérrez y Presbítero, 2023). De igual forma se estima que para el periodo de 2081-2100 la temperatura media de la región será 0.9° C más alta que la obtenida de 1985-2014 en caso de que las emisiones de GEI sean muy bajas y 4.4°C si se sigue un ritmo de emisiones muy elevado (CAF, 2023: 38). La región noroeste de México y Brasil, la región oeste de Perú y Chile, la región noroeste de Bolivia y Paraguay, así como la zona sur de Colombia y Venezuela, serán las más afectadas (CAF, 2023: 40)

Por otro lado, el aumento de la temperatura en los mares y océanos es diferenciado, Mientras que en Mar Caribe se pueden observar afectaciones en los arrecifes de coral debido al calentamiento sostenido, en el Pacífico suroriental no se ven las mismas señales del cambio climático que en otros océanos. Al mismo tiempo, el sargazo que arribó a las costas del Caribe en el año 2021 es un efecto del calentamiento del mar, así como una alteración en los nutrientes de los que se alimenta esta alga debido a la contaminación, lo que favorece su crecimiento y migración (Singer, 2022).

Además, el aumento de la temperatura tanto del aire como del agua han provocado el aumento del nivel del mar, sequías, incendios más intensos y prolongados,

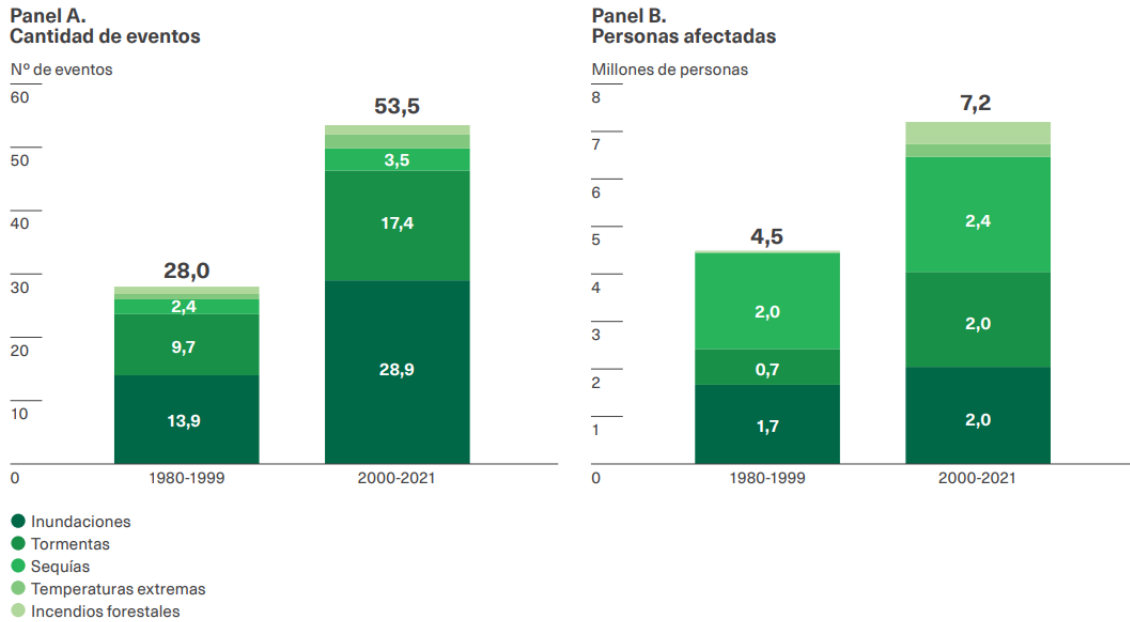
intensas precipitaciones y por ende inundaciones, fuertes vientos y tormentas cada vez más intensas (OXFAM, 2023).

En la actualidad, los países de Centroamérica y el Caribe (Costa Rica, Panamá, Jamaica, México, República Dominicana y Trinidad y Tobago) se encuentran altamente expuestos a fenómenos climáticos extremos derivados del incremento en la temperatura del mar en las costas de los océanos Atlántico y Pacífico (CAF, 2013). Los cambios en la trayectoria, intensidad y/o frecuencia de las tormentas tropicales y ciclones representan severos riesgos para muchas naciones de Mesoamérica y el Caribe. A su vez, es probable que se observe una disminución en la frecuencia de los ciclones tropicales de entre un 10% y 15%, así como un incremento de su magnitud debido a las crecientes temperaturas del mar. Para finales del siglo XXI se espera un incremento del 200% de ciclones categorías 4 y 5 en el Atlántico (CAF, 2014).

Actualmente, 13 de los 50 países más afectados por fenómenos hidrometeorológicos en el mundo se encuentran en ALC (Gutiérrez y Presbítero, 2023). Es importante mencionar que los fenómenos climáticos extremos aunados a las actividades económicas, las condiciones sociales y los ecosistemas en los que se sitúan pueden convertirse en eventos desastrosos (Bárcena y otros., 2020). Para el periodo de 1970 a 2022, se suscitaron en la región 11 mil 933 eventos meteorológicos extremos relacionados con el clima que corresponden al 17.1% del total de eventos a nivel mundial (Gutiérrez y Presbítero, 2023). Siendo las inundaciones, sequías y los ciclones tropicales los más frecuentes (CAF, 2023).

En la figura 8, se pueden observar los promedios anuales de eventos climáticos extremos, así como las personas afectadas por estos para los países de ALC en los periodos de comparación 1980-1999 y 2000-2021. El fenómeno más recurrente fueron las inundaciones seguido por las tormentas, ambos con la misma cantidad aproximada de personas afectadas (2 millones cada uno), seguido por las sequías que a pesar de ser menos recurrentes tienen una mayor afectación en la población.

**Figura 8. Ocurrencia de eventos extremos relacionados con el clima y personas afectadas en América Latina y el Caribe según el tipo de evento en diferentes periodos.**



Fuente: Retomado de CAF, 2023: 49.

Los países del Caribe estarán muy expuestos a ciclones tropicales y su vulnerabilidad es muy alta debido a la alta concentración de la población en las costas y por su baja diversificación económica. Estas naciones deben afrontar un alto costo de endeudamiento para la reconstrucción de su infraestructura dificultando la adaptación y la resiliencia (CAF, 2023: 23). En este sentido, los países más vulnerables a los fenómenos hidrometeorológicos son aquellos situados en la cuenca del Caribe, las regiones en el noreste brasileño, las zonas desérticas, las costas peruanas y chilenas, zonas áridas de Argentina y la región Andina (Honty, 2007). Por ejemplo, para el año 2017, en la temporada de huracanes, se afectó a la mayoría de los países y territorios caribeños y se destruyeron una gran parte de su infraestructura urbana y de comunicaciones. Las consecuencias económicas fueron mayores debido a que las actividades económicas del Caribe se basan en sectores muy vulnerables a los efectos del cambio climático como la pesca y el turismo (CAF, 2023).

Cierto es que los efectos de los desastres naturales afectan en mayor medida a los países en desarrollo que los países desarrollados, y que el sector agrícola sufre de manera más intensa (Bárcena y otros.,2020: 101). Al igual que las pequeñas economías poco diversificadas cuyas pérdidas por eventos climáticos extremos implican grandes impactos de pérdidas de su PIB anual (CAF, 2023).

Para los países de América del Sur y América Central, los eventos climáticos que sufren con más frecuencia son las inundaciones y sequías (CAF, 2023). En este sentido, se considera que un aumento en la temperatura promedio de 1.5°C correspondería a un incremento entre el 100% y el 200% de la población afectada por inundaciones en países como Colombia, Brasil y Argentina, un 300% en Ecuador y 400% en Perú (Gutiérrez y Presbítero, 2023). En las zonas no costeras las causas de las inundaciones son las lluvias abundantes, el desborde de los ríos y la infraestructura de control de inundaciones deficiente (CAF, 2023).

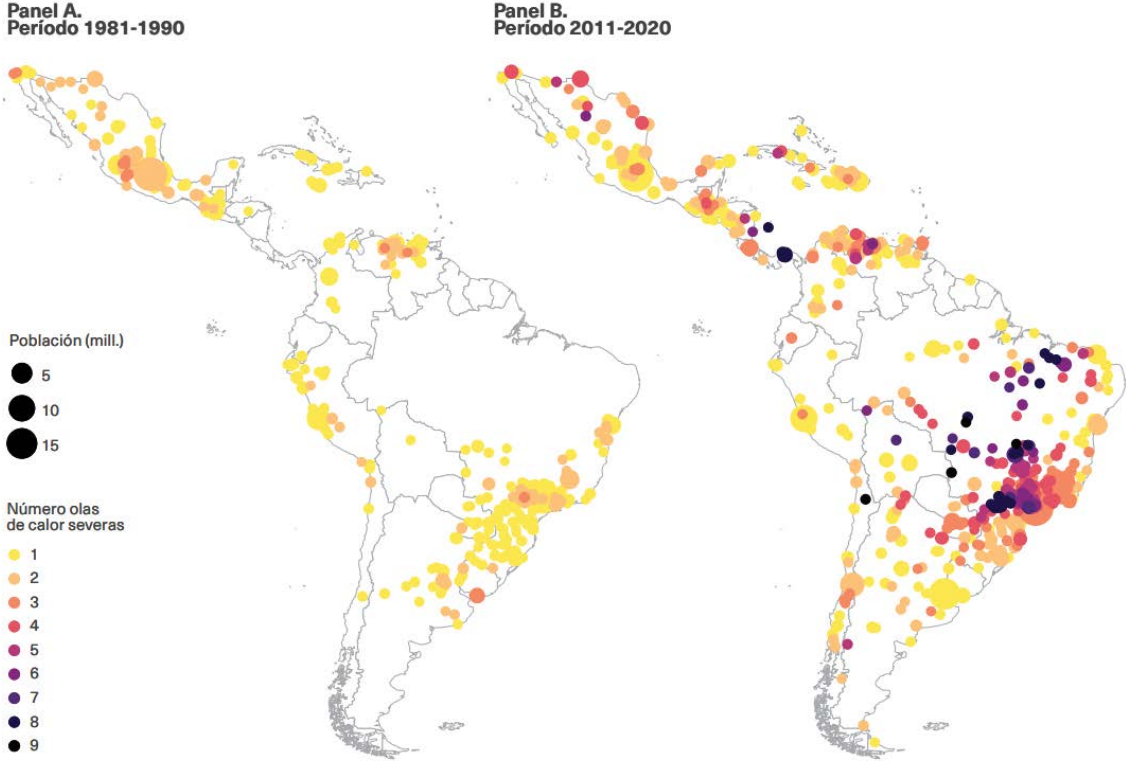
Otros ejemplos del impacto del cambio climático son la “megasequía” en la región central de Chile, la cual para el año 2022 cumplió 13 años y es considerada como la más larga y grave en mil años y, la sequía en la cuenca del Paraná y Platas entre Brasil y Argentina, considerada la peor sequía desde el año 1944 (Singer, 2022).

También, otro evento extremo que ha aumentado su frecuencia en los últimos años son las olas de calor, las cuales tienen consecuencias negativas en la salud de la población y elevan las tasas de mortalidad y morbilidad, principalmente en los grupos más vulnerables como adultos mayores, niños y personas con enfermedades crónicas. Únicamente en el periodo del 2011 a 2020, 60% de las ciudades tuvieron olas de calor y 28% de las cuales son consideradas severas. (CAF, 2023).

Como se puede observar en la figura 9, Brasil es uno de los países más afectados tanto por el número de olas de calor severas como por la cantidad de población que fue afectada por estas. De igual forma, países como Venezuela, Chile, Argentina, Costa Rica, las Guyanas, Guatemala, Honduras, El Salvador, Paraguay y Uruguay

experimentaron un incremento de olas de calor y población afectada. En el caso de México se observa al norte del país un incremento de olas de calor severas, así como un aumento en la población afectada por éstas.

**Figura 9. Incidencia de olas de calor severas y población afectada en ciudades de América Latina y el Caribe en los periodos 1981-1990 y 2011-2020.**



Fuente: Retomado de CAF, 2023: 53.

La figura 10 muestra los posibles impactos esperados del cambio climático para la región para el año 2050. En esta se observa el aumento de la vulnerabilidad a fenómenos atmosféricos extremos, modificaciones en los patrones de precipitaciones, riesgo a la desertificación, cambios en los ecosistemas y distribución de la biodiversidad amenazada entre otros.

**Figura 10. Impactos del cambio climático esperados para 2050.**



Fuente: Retomado de: Bárcena y otros, 2020: 98.

Cabe resaltar que las amenazas hidrometeorológicas son las principales causas de nuevos desplazamientos por desastres en la región, los cuales aumentaron 64% en el periodo del 2008 a 2020 (Gutiérrez y Presbítero, 2023). En la región de América Latina y el Caribe los desastres relacionados con el clima como inundaciones y tormentas generaron 2.3 millones de desplazamientos internos de niños, niñas y

adolescentes en seis años, lo que implica aproximadamente 1 mil 50 desplazamientos de niños y adolescentes por día, siendo Cuba y Honduras los países con más desplazados en números absolutos entre los años 2016 y 2021 (UNICEF, 2023). Se calcula que en los próximos 30 años Brasil y México podrían desplazar por inundaciones y tormentas a aproximadamente 1.5 millones de niños, niñas y adolescentes respectivamente (UNICEF, 2023).

Por otro lado, de acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud (OPS), el cambio climático es la mayor amenaza para la salud en el mundo para el siglo XXI. Ésta se verá afectada por las olas de calor, sequías, tormentas fuertes, aumento del nivel del mar, enfermedades de las vías respiratorias, enfermedades transmitidas por vectores, inseguridad alimentaria y del agua, desnutrición y desplazamientos forzosos (OPS, 2024). Por tanto, el cambio climático generará cargas extras a los sistemas de salud, principalmente en los países en desarrollo, los cuales ya se encuentran saturados. Y aumentará la morbilidad y mortalidad derivados de fenómenos climáticos y meteorológicos extremos, así como, por el aumento de enfermedades sensibles al clima (OPS, 2019:1). como consecuencia se dificultará la superación de la pobreza (Bárcena y otros, 2020).

Más aún, los efectos en la salud debido al clima no son homogéneos, existen poblaciones expuestas a mayores riesgos, las cuales se encuentran en países en desarrollo, lugares de altas montañas, regiones polares, zonas áridas y costeras con creciente población (Rodríguez-Pacheco y otros, 2019).

Se estima que, a partir del año 2030, habrá 250 mil muertes adicionales al año debido al cambio climático (OPS, 2024). En la región de América Latina y el Caribe se estima que las muertes anuales de personas de 65 y más debido a la exposición al calor aumentaron en promedio de 240% en el periodo de años del 2017-2021 en comparación a los años 2000-2004 (Banco Mundial, 2023a). Siendo Ecuador, Guyana y Chile los países con mayor incremento de muertes por esta causa (Sierra, 2023).

Además, el aumento de la temperatura y de las precipitaciones predispondrá un aumento de la propagación de enfermedades por vectores a mayores altitudes y latitudes que en su distribución original (Bárcena y otros, 2020). Debido a esto, el riesgo de transmisión de enfermedades como el dengue, malaria y cólera han aumentado en las zonas tropicales debido al aumento de la temperatura, siendo Brasil, Honduras, Guatemala y Nicaragua los que presentaron un mayor número de casos en el periodo 1990-2007 (Gutiérrez y Presbítero, 2023). Por ejemplo, la reproducción del dengue en ALC aumentó de 0.32 a 0.42 en los años 2012 y 2021 respectivamente. Únicamente en Argentina para mayo del año 2023 se registraron más de 100 mil contagios de esta enfermedad y 59 personas fallecidas, mientras que países como Perú y Bolivia tuvieron el pico más alto de la enfermedad en los últimos años. Únicamente Brasil para el año 2022 presentó más de 2 millones de casos (Banco Mundial, 2023a).

De la misma forma, la baja calidad del aire propicia un incremento de las enfermedades respiratorias debido a la alta presencia de contaminantes o material particulado en la atmósfera lo que ocasiona alergias, rinitis, asma, cuadros bronquiales y cáncer del aparato respiratorio (Rodríguez- Pacheco y otros, 2019). Únicamente en Sudamérica 37 mil muertes prematuras acontecieron en el año 2020, las cuales están asociadas a la contaminación de aire por partículas de suspensión de 2.5 micras o menos (Sierra, 2023)

De manera general, los niños nacidos en la región en el año 2020 experimentarán 1.3 veces más incendios, 1.8 veces más de crecidas de ríos, 2 veces más de sequías, 2.5 veces más pérdidas de cosechas y 4.5 veces más olas de calor en comparación con alguien nacido en 1960 (OPS, 2021).

Otro aspecto por considerar es el impacto del cambio climático en el sector energético. En América Latina y el Caribe, el consumo energético es responsable del 13% de las emisiones totales de la región y debido al crecimiento de las economías de la región, este presentó un aumento en su consumo de 74% en el

periodo de 1990-2019 (CAF, 2023). En cuanto a la distribución de su consumo, este se encuentra dado por 41% de petróleo y sus derivados, 29% de gas natural, 4% por energía natural, 1% por energía nuclear y 25% por energía renovable, por encima del promedio mundial que es de 13%. Dentro de la energía renovable utilizada en la región se distribuye de la siguiente manera: 14% (del total de energía utilizada en ALC) se da por biomasa, 8% hidroenergía y 3% por otras fuentes renovables (Bárcena y otros, 2018). Siendo que, los problemas de acceso a la energía de la región se encuentran concentrados en su mayoría en las poblaciones rurales (CAF, 2023).

Referente a la disponibilidad de recursos energéticos, ALC cuenta con el 25% de potencial hidroeléctrico mundial y tiene un alto potencial eólico, así como alta disponibilidad de energía geotérmica. Sin embargo, paradójicamente, a pesar de que el sector energético de la región es responsable solo del 5% de las emisiones mundiales de GEI, los sistemas de generación eléctrica son altamente vulnerables a los efectos del cambio climático (Bárcena y otros, 2018). Por un lado, la región requiere una mayor inversión en infraestructura para la adaptación del sector energético y de las ciudades al cambio climático y por el otro lado, América Latina tiene un gran potencial para la generación de energía renovable (CAF, 2023).

Los efectos del cambio climático en el sector energético se verán reflejados en otros sectores como la educación, cultura y la salud (Heres, 2015). Por tanto, es relevante analizar diferentes modelos de políticas públicas que permitan que la región pueda mudarse a un sistema basado en energías renovables y que contemple medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.

Por otro lado, el alza del nivel del mar, las temperaturas y precipitaciones extremas, así como las inundaciones generarán pérdida de infraestructuras, aparición de especies invasoras y fenómenos extremos en zonas costeras de América Latina y el Caribe, lo que en su conjunto impactará al sector turístico de la región (Bárcena y otros, 2020).

Únicamente para el Caribe, el turismo representa aproximadamente 41% de la exportación de bienes y servicios, y es la mayor fuente de empleo (Ambrus, 2018). Y, al mismo tiempo, para esta región, el cambio climático representa una gran amenaza permanente con un efecto negativo por lo que es probable que los patrones de los viajes turísticos se vean impactados por el cambio en las temperaturas, el aumento del nivel del mar, invasiones de sargazo y la intensidad y frecuencia de los huracanes y tormentas (CAF, 2024).

De acuerdo con el Consejo Mundial de Viajes y Turismo, el Caribe será el destino con mayor riesgo en el mundo para el periodo que abarca de 2025 al año 2050, lo que generará pérdidas de aproximadamente el 10% del PIB, que equivale a más de 22 millones de dólares (Ambrus, 2018). Se estima que en caso de que el nivel del mar se eleve a un metro, podría inundar de manera parcial o total el 29% de los Resorts costeros en 19 países del Caribe, al mismo tiempo que la vulnerabilidad a la erosión costera aumentara en un rango de 49% al 60% (da Silva y Marengo 2020)

En este sentido, Jamaica, es extremadamente vulnerable al aumento del nivel del mar, en caso de que éste incrementara un metro, el 100% de sus tierras portuarias se inundarán, así como el 20% de sus tierras aeroportuarias y el 2% de sus redes (da Silva y Marengo, 2020). En contraparte, algunos lugares se verán especialmente afectados debido a su dependencia directa a las condiciones del clima como son las estaciones de esquí y las reservas glaciares de Argentina y Chile (CAF, 2024).

La falta de diversificación económica en los países los hace más vulnerables al cambio climático cuando dependen en gran medida de actividades sensibles a los efectos de éste. En este sentido, los países con mayor riesgo serán aquellos cuyo PIB dependa más del 15 % de las actividades turísticas, como es el caso de gran

parte de los SIDS<sup>5</sup>, Costa Rica, Belice, Honduras y México (da Silva y Marengo, 2020).

Por ello, América Latina y el Caribe tiene la oportunidad de impulsar un turismo sostenible y regenerativo que busque la restauración y mejoramiento de su patrimonio natural y cultural y a su vez, aumente el bienestar de sus habitantes (Montalvo, 2023).

De igual modo, otro sector que se verá sumamente afectado por los impactos del cambio climático es el sector agropecuario. Para el año 2017, este sector, en ALC representaba alrededor del 5% del PIB, concentraba entre 14% y 19% de la población ocupada, generaba alrededor de 29% de las exportaciones regionales, y 22% de la población habitaba en zonas rurales. Por tanto, este sector representa un papel importante en la seguridad alimentaria, la economía y la reducción de la pobreza en la región (Bárcena y otros, 2020; Bárcena y otros, 2018).

Se espera que el cambio climático derive en cambios en la estructura, rendimiento y ciclos de cultivo. Las condiciones físicas de los suelos se verán afectadas, así como la disponibilidad de agua para riego, lo que causará mayor estrés en los cultivos (Bárcena y otros, 2018). Por un lado, se espera que el cambio climático tenga impactos negativos en las áreas tropicales y subtropicales, mientras que por el otro lado sus efectos podrían ser leves o incluso positivos en las zonas templadas (CAF, 2023).

La vulnerabilidad al cambio climático se traducirá en pérdida de producción agrícola principalmente en México, Centroamérica y el Caribe. Por ejemplo, para el año 2050 se calcula que la disminución de la producción de cultivos en Belice, Nicaragua, Panamá y El Salvador será de 20%, 11%, 7% y 5% respectivamente (CAF, 2023).

---

<sup>5</sup>Pequeños Estados Insulares en Desarrollo.

Los efectos del cambio climático son ya visibles en la región, por ejemplo, las sequías que se presentaron en América del Sur representaron un descenso del 2.6% de la productividad de la cosecha de cereales para el periodo 2020-2021 con respecto a la del año anterior, mientras que la reducción de la precipitación afectó la agricultura en América Central y los Andes tropicales (Gutiérrez y Presbítero, 2023: 23). Las pérdidas del sector generadas por el cambio climático también se verán afectadas por factores humanos como la tenencia de la tierra o la aplicación de políticas públicas adecuadas (Bárcena y otros, 2020).

Por otro lado, la agricultura, junto con la silvicultura y otros usos de la tierra es el principal emisor de GEI en ALC. Sin embargo, los costos de mitigación y reducción de emisiones de este sector son relativamente bajos debido a que también actúan como un sumidero natural de carbono, lo que podría contribuir en un escenario en el cual el sector lograra un saldo negativo de  $CO_2$  (PNUD, 2022).

En lo que respecta a la ganadería, en América Latina y el Caribe, el sector tiene múltiples beneficios económicos y nutricionales debido a que este contribuye con el 41.5% del PIB agrícola regional y aporta el 50% de la proteína y 21% de las calorías animales (FAO y otros, 2023). Además, representa el 23% de la producción mundial de carne y 11.5% de la producción de leche, con exportaciones mundiales que rondan el 10.4% para el periodo 2017-2021. Cerca de 60 millones de personas dependen de este sector (Viglizzo, 2023; FAO y otros, 2023). Aunque toda la región presenta producción pecuaria, 75% de esta se encuentra concentrada en Brasil, Uruguay, Paraguay, México y Argentina (Milesi, 2016).

El sector ganadero ha experimentado ya los impactos del cambio climático como son las sequías progresivas, inundaciones recurrentes y desastres que perturban la actividad económica y los medios de vida (FAO y otros, 2023). Todos los eslabones de la cadena productiva de carne y leche se verán impactados por el cambio climático, especialmente la provisión de insumos, alimentos y agua, la engorda, transformación y comercialización. En este sentido, la productividad agrícola de

pastizales y matorrales, como alimento para el ganado, se ha visto también afectada por los cambios en los patrones de lluvia, lo que implicará un mayor riesgo de pérdidas de ganado y el aumento a los precios para el consumidor final (FMCM, 2022). Siendo, el ganado bovino es considerado como altamente sensible al clima, se espera que en los lugares más secos y cálidos haya una disminución de este, mientras que el ganado ovino se incrementa (López, 2015).

De igual forma, la ganadería, dependiendo el sistema con el que se lleve a cabo, puede estar vinculada a otros problemas ambientales, como es el caso de la correlación entre ganadería y desmonte en países como Brasil, Paraguay y Colombia (Viglizzo, 2023: 6). El sector ganadero contribuye con al menos el 10% de las emisiones de GEI a nivel global. Sin embargo, para el periodo 2000-2014, América Latina y el Caribe ha observado una disminución de 50% en dichas emisiones debido principalmente a la reducción de la deforestación con cambios de uso de suelo (FAO y otros, 2023: 1). Por otro lado, las tierras de pastoreo son potenciales sumideros de carbono, que aún no han sido evaluados en el continente americano y cuyo potencial podría ser utilizado en beneficio del clima y la disminución o equilibrio de las emisiones del sector (Viglizzo, 2023)

En regiones sumamente pobres, el ganado no solo contribuye a la alimentación a base de leche y carne, sino que también provee múltiples servicios como por ejemplo trabajo por tracción, fertilizantes, fuente de energía y material de construcción con las heces, y la orina como desinfectante y repelente de plagas animales (Viglizzo, 2023: 7). Los productores pecuarios familiares son los que se encuentran más expuestos a los riesgos del cambio climático, siendo que estos representan el 80% de los productores ganaderos de la región (Milesi, 2016).

Actualmente existen algunas propuestas de medidas a corto, mediano y largo plazo para la adaptación del sector ante el cambio climático. En la Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela se enfocan en mantener la movilidad del ganado en zonas de pastoreo sujetas a sequías, desarrollar razas de ganado

resistentes a cambios de temperatura e implementar sistemas agroforestales para aumentar la capacidad de adaptación (López, 2015).

En lo que respecta a la pesca y la acuicultura, las alteraciones relacionadas con el cambio climático que generan afectaciones directas o indirectas se exacerban con los altos niveles de sobreexplotación pesquera de la región (Mina, 2023). En este sentido, en ALC se observa una desaceleración en el crecimiento de la producción acuícola con respecto a la productividad obtenida para el año 1990. De acuerdo con OLDPESCA, las especies más importantes en la zona centro del Océano Pacífico están siendo amenazadas por las alteraciones atmosféricas y oceanográficas como El Niño/La Niña, huracanes, corrientes marinas y cambios en los patrones de lluvias/sequías (Martínez y Bravo, 2013). También se espera que, en los próximos 30 años, el cambio climático genere pérdidas de hasta 10 millones de dólares por año en la región y al mismo tiempo se sufra la pérdida del 40% de la vida marina (Mina, 2023).

Es importante mencionar que, en las zonas costeras de ALC, la pesca es la principal fuente de ingresos económicos en comunidades históricamente rezagadas, por lo que a su vez existe una estrecha relación entre ésta y la seguridad alimentaria (Mina, 2023), además de que su bajo rendimiento aumenta la vulnerabilidad de las comunidades por la falta de alimento proteico y las hace proclives a los posibles efectos de la migración (Tello, 2013). De ahí que las pesquerías artesanales en países en desarrollo son particularmente vulnerables a los efectos del cambio climático. El aumento de la temperatura en los océanos ha generado la mortandad masiva de especies con afinidad por el agua fría, mareas rojas (floraciones de algas nocivas) cada vez más frecuentes y migraciones de especies (Jorge-Romero y otros, 2022).

El aumento de las mareas rojas es propiciado por los cambios ambientales, de temperatura, nutrientes y condiciones de viento que permiten la proliferación de algas tóxicas como las diatomeas y los dinoflagelados, las cuales pueden causar

enfermedades en humanos y ser mortales para animales marinos (Howard, 2014). Por consiguiente, se ha visto un aumento en el número de días de prohibición de recolección de mariscos por marea roja en la costa oceánica uruguaya a partir del año 2000, siendo el caso no solo de Uruguay sino de muchas costas en América Latina (Jorge-Romero y otros, 2022).

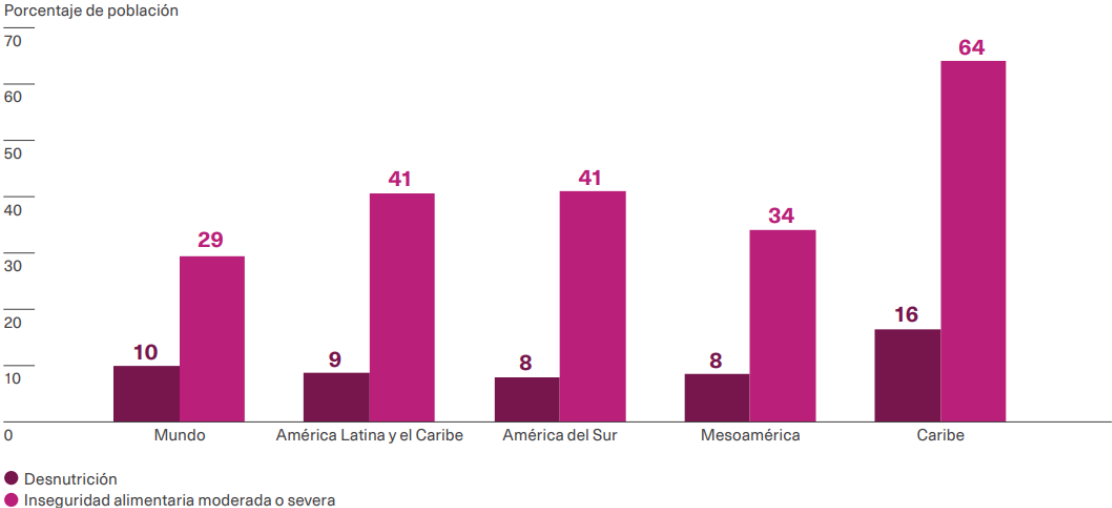
Otro aspecto importante por considerar dentro de los efectos del cambio climático en ALC es la seguridad alimentaria. Para el año 2019, 1 de cada 3 habitantes en la región se enfrentaba a la inseguridad alimentaria en rango moderado o leve. Es decir, lo equivalente a más de 190 millones de personas sin acceso a alimentos nutritivos y suficientes por falta de recursos. También 1 de cada 5 territorios se encuentra altamente rezagado por la malnutrición, ya sea por retraso del crecimiento o por sobrepeso, siendo este último relacionado con la mala calidad de la alimentación. En este sentido, el promedio de sobrepeso infantil de la región para el año 2019 fue de 7.5%, por encima del promedio mundial de 5.6%. Esta situación predomina en territorios rurales, con poco acceso a servicios y un mercado laboral predominantemente informal con una población con baja escolaridad y altos niveles de pobreza (FAO y otros, 2020).

Mientras tanto para el año 2020 en ALC se reportaron 167 millones de personas con seguridad alimentaria moderada y grave, lo equivalente al 41% de la población sin acceso físico y económico a alimentos suficientes, así como 60 millones de personas con hambre, lo que representa el 9% de la población de la región (Godoy, 2023).

Como se puede observar en la figura 9. para el año 2021, en ALC había un porcentaje de población del 41% y 9% en situación de inseguridad alimentaria moderada o severa y desnutrición, porcentajes mayores a los obtenidos en el mundo de 29% y 10% respectivamente. Esto equivale a 26.7 millones de personas afectadas por la inseguridad alimentaria en la región. Así mismo, la situación del Caribe es la más precaria con 64% de inseguridad alimentaria y 16% de

desnutrición<sup>6</sup> (CAF, 2023: 43) y América del Sur la subregión con más aumentos en el rubro de la región (CEPAL, FAO y PMA, 2022).

**Figura 9. Inseguridad alimentaria moderada o severa y desnutrición en el mundo, América Latina y el Caribe y sus subregiones en 2021**



Fuente: Retomado de CAF, 2023: 43.

El cambio climático está muy relacionado con diversos impactos y afectaciones principalmente en los lugares más vulnerables del planeta debido a su situación actual de malnutrición (FAO, 2020:64). Además de este fenómeno, otros eventos y situaciones que agravan la crisis alimentaria mundial son: el impacto de las guerras de los últimos 15 años, la crisis financiera mundial, presiones sobre los sectores productivos, rupturas de las cadenas productivas primarias y manufactureras, la pandemia de COVID-19, incremento de precios de los alimentos, la ruptura de los procesos productivos debido a las medidas para hacer frente a la pandemia de COVID-19 y el ciclo inflacionario entre otros (CEPAL, FAO y PMA, 2022).

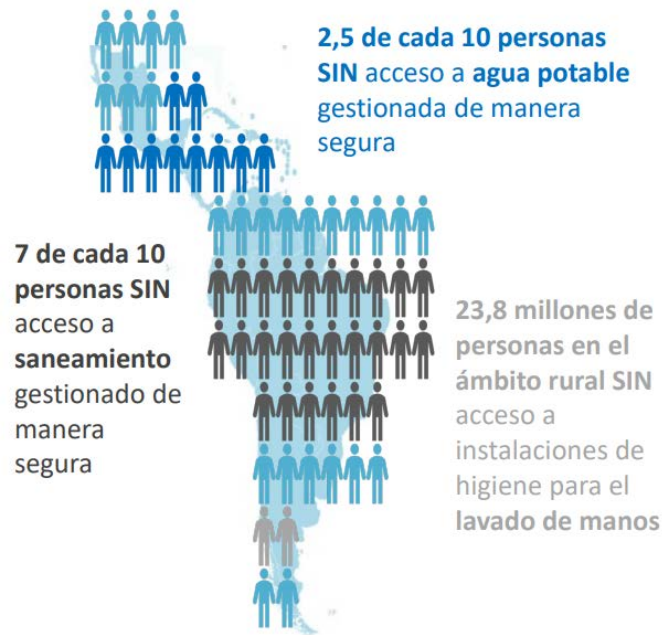
<sup>6</sup> En el Anexo 4 se muestra la prevalencia de la inseguridad alimentaria moderada a grave y grave para algunos países de América latina en el periodo 2014-2019.

La escasez en la producción, así como el aumento de los precios de los alimentos, establece una dinámica discriminatoria que imposibilita a ciertos sectores vulnerables de la población el acceso de alimentos adecuados en cantidad y calidad. El mayor impacto será dado en áreas donde hay factores condicionantes de la malnutrición preexistentes como altos grados de pobreza y vulnerabilidad, bajos niveles educativos, alta presencia de población indígena y mayor vulnerabilidad a los efectos del cambio climático. En caso de que no exista a la par del incremento de precios un ajuste en los ingresos de la población, se ocasionará inseguridad alimentaria y hambre (CEPAL, FAO y PMA, 2022: 3, 11; FAO y otros, 2020).

Rodríguez (y otros., 2016), realizó un estudio en el que estima que en un escenario mediano de cambio climático el número de personas en riesgo de padecer hambre es de 36 millones, mientras que sin escenario de cambio climático sería de 34 millones. Dentro del mismo estudio se calcula el incremento del indicador de seguridad alimentaria, los cuales se presentan en la siguiente figura, siendo países como Venezuela, Panamá y Belice los que tienen mayor riesgo de inseguridad alimentaria por cambio climático en la región.

Por otro lado, ALC cuenta con una gran disponibilidad de recursos hídricos que están distribuidos de manera heterogénea en el territorio. Para el año 2021 se calculaba que esta región tenía el 33% del escurrimiento mundial. Sin embargo, países como México, Chile y Perú concentran alrededor de 40% de la población y tienen solo 10% de los recursos hídricos disponibles (Castro, 2021). Para el año 2020, 81% de la población urbana de ALC tenían acceso a agua potable gestionada de forma segura, mientras que solo el 53% de la población rural tenían acceso a esta (Saravia, 2021). La figura 12. muestra como la mayor parte de la población de la región no tenía acceso a saneamiento gestionado de manera segura y 25% tampoco tenían acceso a agua potable gestionada de manera segura.

**Figura 12. Contexto del acceso a agua potable y saneamiento en América Latina y el Caribe**



Fuente: Retomado de Saravia, 2022: 2.

Al mismo tiempo, el cambio climático implica un riesgo para la disponibilidad del agua. Por ejemplo, los cambios en la temperatura, precipitación, humedad del suelo y la escorrentía contribuyen al derretimiento de los glaciares incidiendo en la disponibilidad y trayectoria para el consumo hídrico. Aunado a esto, existe un aumento de la demanda para consumo humano a medida que la población incrementa al igual que su ingreso, lo que impacta en el costo del suministro entre otras cosas (Bárcena y otros, 2020). Debido a este fenómeno, las superficies de agua dulce en América del Sur han disminuido en alrededor de 7 mil  $km^2$  lo que equivale a 4 veces la ciudad de Sao Paulo, los desastres relacionados con el agua se han duplicado y se han perdido cerca de 183 mil  $km^2$  de nieves permanentes y glaciares, lo que equivale al territorio de Guatemala (Saravia, 2022).

Esta disminución de la disponibilidad de los recursos hídricos afectará directamente a la agricultura debido a que 70% del uso total del agua en ALC es para este sector, y las zonas en las que predomina la agricultura familiar orientada al autoconsumo

serán las más afectadas, lo que agravará los problemas de seguridad alimentaria, nutricional y económicos de su población (CAF, 2023). En Haití, para el año 2021, la disminución en las precipitaciones en las zonas centrales afectó el crecimiento de los cultivos, lo que agravó la situación ya existente de inseguridad alimentaria de 4.5 millones de personas. Esta situación también impactó a 7.7 millones de habitantes de Guatemala, El Salvador y Nicaragua (Singer, 2022). Al mismo tiempo, los efectos del estrés hídrico serán más importantes en las áreas urbanas (Fernández, 2009). Ello por que los asentamientos humanos son vulnerables no sólo ante los fenómenos naturales sino también en cuanto a la satisfacción de sus requerimientos de agua, comida y energía (Magaña y Gay, 2002).

Algunas acciones que se pueden implementar para responder a los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos son: establecer medidas para reducir las pérdidas del recurso hídrico, mejorar el aprovechamiento del agua principalmente en zonas de alta inseguridad hídrica, implementar proyectos de regulación, tomar medidas de conservación y restauración de las cuencas hidrográficas entre otros (Castro, 2021).

Por otro lado, la contaminación del aire es, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), el mayor riesgo ambiental para la salud en las Américas (Maxwell, 2019). Para el año 1950, 41% de la población de ALC habitaba en la zona urbana, pero para el año 2020 esta cifra aumentó a 80%. El proceso de urbanización ha conllevado al aumento de contaminación atmosférica, generación de gases de efecto invernadero, problemas de salud. Además, los efectos de la contaminación atmosférica en la salud se ven intensificados por el cambio climático, debido a que el incremento de la temperatura puede desencadenar retroalimentaciones químicas que aumenten el nivel máximo de ozono y materia partícula da fina con consecuencias para la salud (Bárcena y otros, 2020).

La exposición a partículas de 2.5 micras o menos se encuentra ligada a mayor morbilidad debido a enfermedades como accidentes cerebrovasculares,

enfermedades cardíacas y pulmonares. Para el año 2020 se contabilizaron alrededor de 37 mil muertes prematuras en Sudamérica debido a contaminación de aire por partículas en suspensión de 2.5 micras o menos siendo los países con mayor mortalidad atmosférica Chile con 230 muertes por millón y Perú con 176 respectivamente (Sierra, 2023).

Por un lado, en caso de aplicarse medidas para reducir las emisiones de carbono negro, metano e hidrofluorocarbonos, podría reducirse hasta 0.9°C el calentamiento de la región para el año 2050, al mismo tiempo que la tasa de mortalidad por contaminación de aire disminuirá en un 20% de las cuales 26% corresponderán a muertes prematuras asociadas con la contaminación por material articulado fino y 40% a muertes vinculadas al ozono de las cuales, también se evitará la pérdida de hasta 4 millones de toneladas de cultivos básicos (ONU,2018).

Por el otro lado, en caso de no tomarse las medidas necesarias la mortalidad prematura anual por contaminación del aire se duplicará para el año 2050 (ONU, 2018). En este sentido, existen medidas concretas para la reducción de los contaminantes climáticos de vida corta en la región. 45% de las emisiones de metano podrían reducirse para el año 2050 en caso de que implementen intervenciones en la producción y distribución de petróleo y gas, gestión de recursos, minería de carbón y agricultura (ONU, 2018). De esta manera se puede enfrentar el cambio climático al mismo tiempo que se mejora la calidad del aire (Maxwell, 2019).

#### **1.2.4 Efectos del cambio climático en México**

México cuenta con 1.96 millones de  $km^2$  de territorio continental, 72.2% de sus fronteras se tratan de líneas de costa ubicadas al sur, oeste y este mientras que el otro 27.8% colinda con Estados Unidos de América al norte y República de Guatemala y Belice al sur, además cuenta con más de 3 mil islas, islotes, cayos y rocas que abarcan 5 mil 127  $km^2$  (SEMARNAT, 2018a: 30). Su ubicación y sus condiciones geográficas y orográficas generan que el país se encuentre más

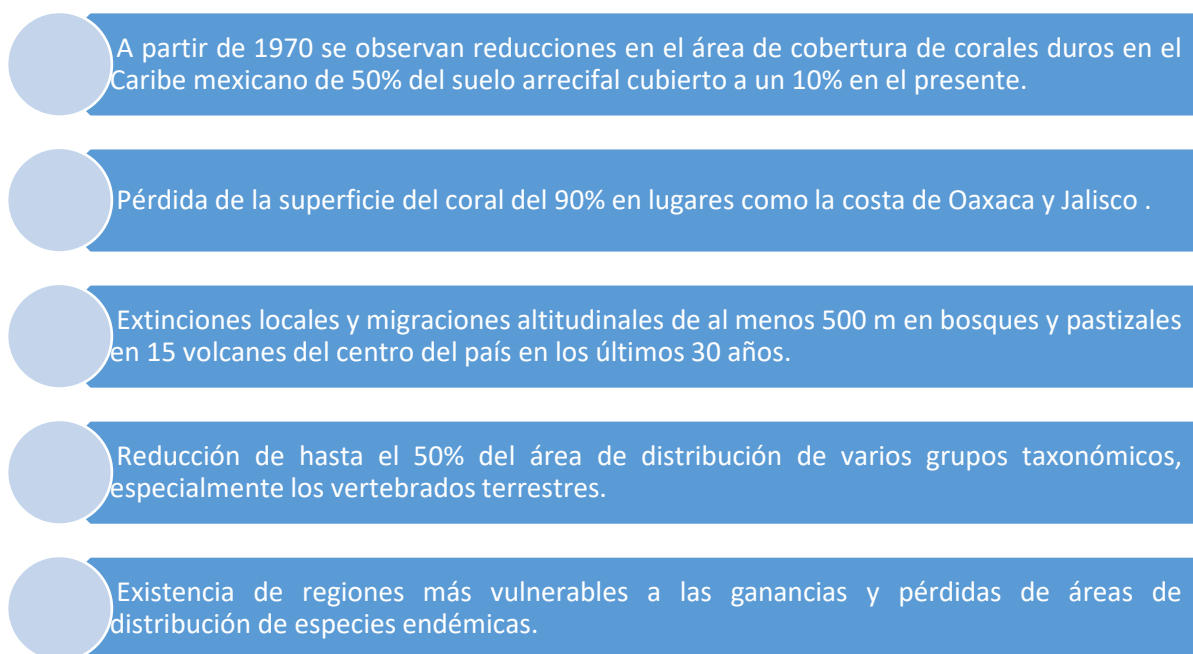
expuesto a los fenómenos hidrometeorológicos extremos, de manera particular en las zonas costeras, áreas inundables y laderas (Zamora, 2015). México, es y será muy vulnerable al cambio climático (Conde, 2007).

En el mundo, existen 12 países llamados megadiversos, de los cuales, México ocupa el quinto lugar (SEMARNAT, 2018a). Sin embargo, el cambio climático provocará disturbios tanto en los procesos biológicos como ecológicos y exacerbará el efecto de diversas amenazas de origen antropogénico como son la pérdida de los hábitats, contaminación, brote de patógenos entre otros que afectarán de manera directa a la biodiversidad (Estrada y otros, 2023).

En las próximas décadas algunas regiones enfrentarán cambios en el clima que afectarán significativamente su biodiversidad y ecosistemas (SEMARNAT, 2018a).

Algunos cambios en la biodiversidad observados a partir del cambio climático en el país se muestran en la figura 13.

**Figura 13. Cambios en la biodiversidad en México derivados del cambio climático**



Fuente: Elaboración propia a partir de Estrada y otros, 2023: 36-37.

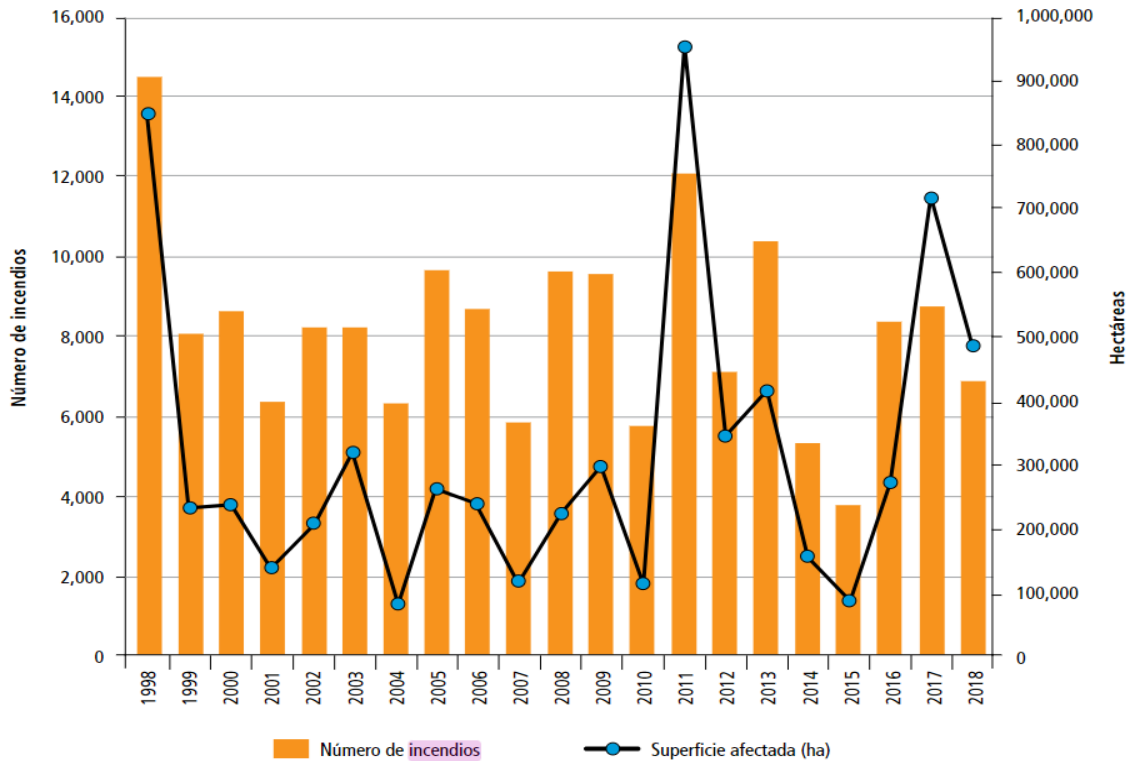
Por otro lado, en las zonas bioclimáticas del país, el cambio climático generará que las zonas con menores requerimientos de humedad incrementen su área de distribución, y las que tienen mayores requerimientos de humedad disminuyan. En este sentido, en México, existen áreas prioritarias para la conservación de especies bajo escenarios de cambio climático. Por ejemplo, el Altiplano Mexicano podría perder las condiciones aptas para las especies, mientras que la Faja Volcánica Transversal sucumbirá debido al cambio de uso del suelo (SEMARNAT, 2018a:). Así mismo, las islas ubicadas en el Pacífico son menos sensibles a los efectos del cambio climático que las islas ubicadas en el Golfo de California y el Mar Caribe, siendo las aves y los mamíferos las especies con mayores pérdidas potenciales. Al mismo tiempo, el área de distribución potencial para aves y anfibios podría reducirse mientras que el de plantas y mamíferos podría aumentar. (SEMARNAT, 2018a).

Actualmente México tiene diversos mecanismos de conservación de la biodiversidad como son el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (ANP), las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre y el pago de servicios ambientales y ordenamientos ecológicos (SEMARNAT, 2018a).

Además, el aumento de las temperaturas y el descenso de las precipitaciones debido al cambio climático generan un escenario de alto riesgo de incendios forestales, los cuales serán más frecuentes extensos e intensos (Ibarra y Huerta, 2016). En México se presume que ascenderán a 17 mil millones de pesos por año aproximadamente sin incluir pérdidas de servicios ambientales y biodiversidad ni muertes o lesiones provocadas por los mismos (Cárdenas, 2010b; 48).

A continuación, se observa en la figura 14 el número de incendios en México y la superficie afectada por ellos en el periodo de 1998-2018, siendo los años de 1998 y 2011 los años con mayor número de incendios, siendo que ambos años presentaron una intensa sequía asociada a las condiciones de El Niño (SEMARNAT, 2018a: 36).

Figura 14. Número de incendios y superficie afectada, 1998-2018.



Fuente: Retomado de SEMARNAT, 2018a: 36.

Para el año 2019, 60% del país presentó algún grado de sequía y miles de hectáreas de bosque se incendiaron en el centro y sur de México, lo que provocó problemas de contaminación de aire y generaron contingencia por mala calidad del aire en la Ciudad de México por varias semanas (Ramírez, 2020). En los meses de enero a marzo del 2023, se consumieron al menos 1 mil 172 hectáreas en incendios, mientras que el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) pronosticó que para la primavera de ese año habría por lo menos 2 mil 390 incendios (Durán, 2023).

En el país se cree que tanto el cambio climático con el aumento de las temperaturas y sequías, junto con el mal manejo del fuego en el sector agrícola y ganadero, así como el cambio de uso de suelo y la urbanización, son factores que han propiciado el incremento en cantidad e intensidad de incendios forestales (Ramírez, 2020). Las zonas centro, norte, noroeste sur y sureste del país la temporada de incendios

forestales dura de enero a junio, mientras que en el noroeste del territorio es de mayo a septiembre (SEMARNAT, 2018b). Se estima que los incendios extremos podrían aumentar hasta en 14% para el año 2030, 30% para finales del año 2050 y 50% para finales del año 2100 (Serdyukov, 2022).

Actualmente existe una estrategia general de prevención y control de incendios forestales dada por el Programa Nacional de Prevención de Incendios Forestales e instrumentado por la Comisión Nacional Forestal (SEMARNAT, 2018a). Sin embargo, a partir del año 2012 la Comisión Nacional Forestal ha tenido una reducción presupuestal de 43% (Ramírez, 2020). Además, el sector forestal, tanto en México como en el mundo, se encuentra ante un cambio de paradigma para el manejo de plantaciones productivas, lo que genera desafíos políticos, institucionales y culturales (Ibarra y Huerta, 2016). Por tanto, las instituciones encargadas de la vigilancia, prevención y manejo de incendios requieren que sus capacidades financieras, técnicas y de personal se fortalezcan (Ramírez, 2020).

Por otro lado, el cambio climático, principalmente con el aumento de las temperaturas y la disminución de la precipitación, ha desencadenado el deshielo de los glaciares. Para el año 2021, sólo quedaban cinco glaciares en México, los cuales se encontraban repartidos en las montañas del Pico de Orizaba, el Iztaccíhuatl y el Popocatepetl (Guillén y De Miguel, 2021). Estas tres montañas son las únicas en el país que tienen una altura mayor a los 5 mil 200 metros y que reúne las condiciones suficientes de precipitación y temperatura para la permanencia en estado sólido del agua como nieve o hielo (López, 2020).

En el Iztaccíhuatl solo quedan  $0.2 \text{ km}^2$  de los  $6.32 \text{ km}^2$  que tenía para el año 1850, lo que significa que ha perdido cerca del 95% de su masa glaciar (Guillén y De Miguel, 2021). Además de los glaciares del Iztaccíhuatl y el Popocatepetl, en México sólo quedan otras dos masas de hielo perenne, el glaciar Norte y el pequeño Noroccidental en el Pico de Orizaba (Guillén y De Miguel, 2021), el cual se encuentra en estado crítico debido a que la cantidad de nieve que cae es mínima y

ésta se funde en pocos días o semanas. Para el año 2014, alrededor de 9 mil habitantes dependían de las aguas del deshielo natural de este glaciar para la satisfacción de sus necesidades básicas (Peralta, 2023).

Los glaciares del Iztaccíhuatl podrían extinguirse para el año 2026, mientras que los del Pico de Orizaba podrían desaparecer en los próximos 20 años. En consecuencia, para el año 2050 no habrá glaciares en el país (Guillén y De Miguel, 2021; López, López y Pardo, 2022). Al mismo tiempo, el deshielo de los glaciares generará un cambio local del clima debido a que el color blanco de la nieve refleja la radiación solar. Pero, sin esta capa de hielo la roca absorberá el calor y generará un aumento de temperatura adicional (López, 2020).

Asimismo, el incremento de la temperatura en 2° C presupone un aumento del nivel del mar, lo que trae consigo riesgos en zonas costeras (SEDESOL, 2012: 29). Si se toma en cuenta que México es uno de los 20 países en el mundo con mayor longitud de línea costera en el mundo, con más de 11 mil kilómetros de costa, la elevación del nivel del mar traerá severos impactos en el país (Reyes-Bonilla, Díaz-Castro y González-Baheza, 2020).

En México, los efectos del aumento del nivel del mar debido al cambio climático serán la erosión costera, reducción de las franjas costeras, aumento de los eventos hidrometeorológicos extremos e inundaciones de las costas con el consecuente deterioro de la infraestructura portuaria y en su caso el hundimiento de islas habitadas y migración por efectos del cambio climático, así como la intrusión de agua salada y la pérdida de humedales (Ocaña y Servín, 2023; Reyes-Bonilla, Díaz-Castro y González-Baheza, 2020) principalmente en los territorios de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Quintana Roo (SEDESOL, 2012).

En este sentido, a partir de la segunda mitad del siglo XX, se han registrado aumentos diferenciados en el nivel medio del mar en el Golfo de México y en el Pacífico Mexicano de 2.4 mm y 1.1 mm al año, respectivamente. Siendo que a nivel mundial el aumento promedio es de 1.8 mm al año, por lo que el incremento en el

Golfo de México es considerablemente mayor al promedio mundial. Las islas dentro del territorio nacional serán las más afectadas por el aumento del nivel del mar, especialmente las del Golfo de México y el Mar Caribe. Dentro de un escenario climático con un aumento de 1 y 5 metros, 30.4% del total de superficie insular en la región y 3.8% del territorio insular del país quedará sumergido. Bajo este escenario Isla del Carmen y el Arrecife Alacranes desaparecerán completamente (SEMARNAT, 2018a).

Al mismo tiempo, las zonas costeras bajas (debajo de 2 metros sobre de la marea alta) se vuelven más vulnerables a las inundaciones como son los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Yucatán y Quintana Roo (Magaña y Gay, 2002; SEMARNAT, 2018a). Tabasco es un caso particular dentro del territorio mexicano debido a que tiene casi la mitad de su extensión territorial a una altura de entre 0 y 5 metros por encima del nivel del mar, lo que abarca cerca de seis municipios<sup>7</sup> con alrededor de 35 mil 174 habitantes (Gama y otros., 2023: 295-299). Otros estados con importantes aumentos en el riesgo de inundaciones costeras son Campeche, Sonora y Baja California Sur (SEMARNAT, 2018a: 347).

Como se puede apreciar en el Mapa 2, de acuerdo con distintos escenarios de cambio climático las costas que se encuentran más expuestas al aumento del nivel del mar son las costas del norte de Baja California y Sonora, Sinaloa, Oaxaca, Chiapas y Tamaulipas (PNUD-INECC, 2018). Se muestra un subíndice actual de exposición a inundaciones litorales de origen marino de los municipios costeros de México, proyectado en el largo plazo.

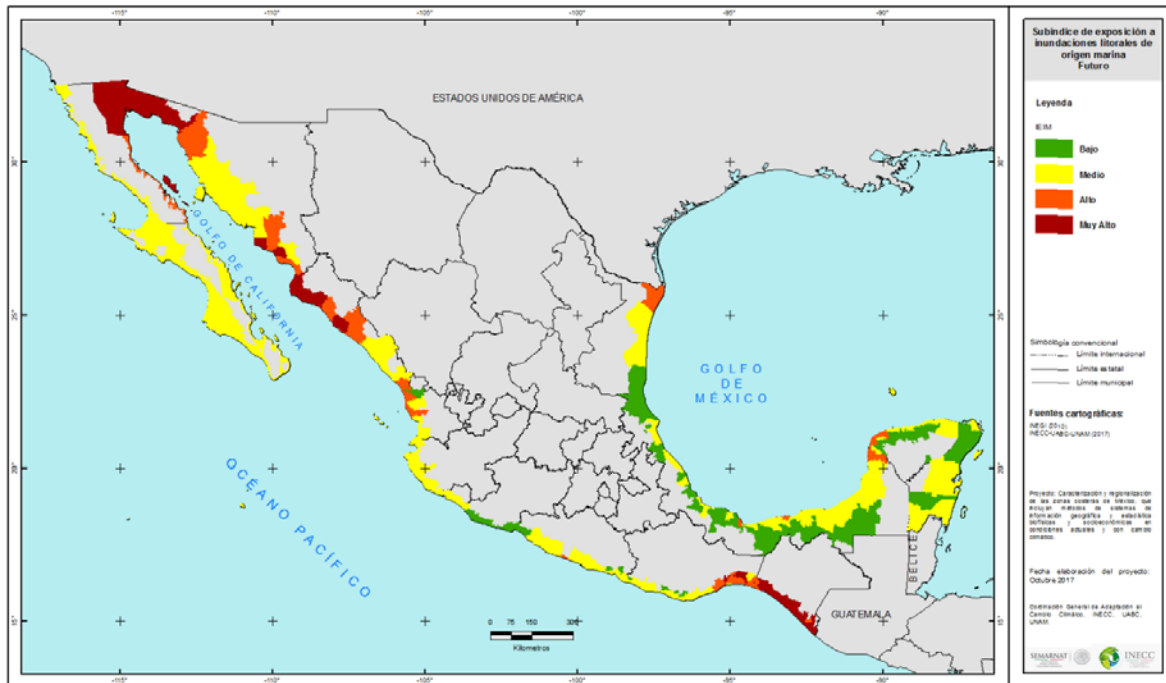
Actualmente el costo anual por inundaciones costeras es de alrededor de 130 millones de dólares. Sin embargo, para el año 2080 este costo aumentaría a 2 mil millones de dólares anuales. En el caso de Yucatán, para el año 2018, el costo por

---

<sup>7</sup> Cárdenas, Centla, Paraíso, Comalcalco, Huimanguillo y Jonuta (Gama et al., 2023: 299)

inundaciones costeras fue de 67 millones de dólares, pero bajo los efectos del cambio climático, para el año 2100 esta cifra podría aumentar hasta 4 mil millones de dólares (SEMARNAT, 2018a).

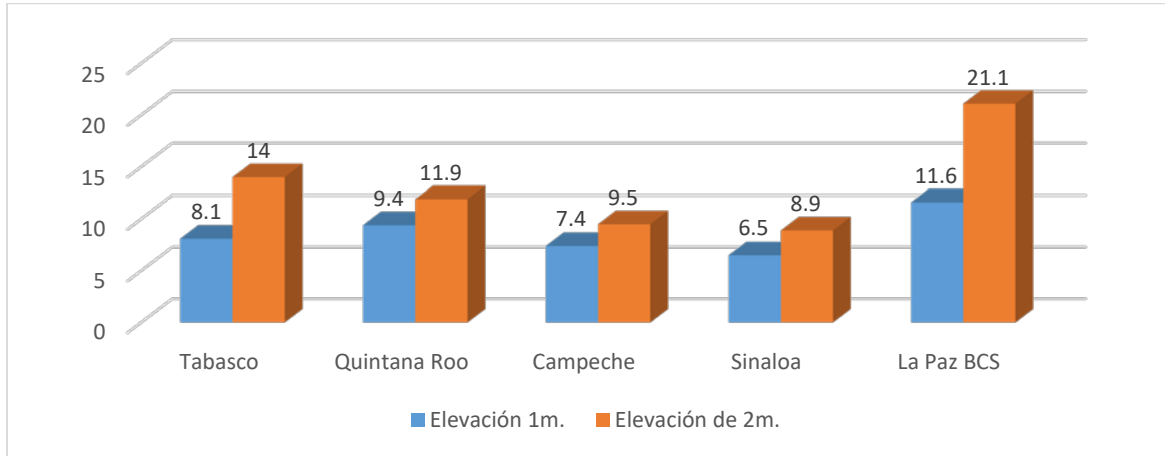
**Mapa 2. Subíndice de exposición a inundaciones litorales de origen marino proyectado de los municipios costeros de México**



Retomado de PNUD-INECC, 2018: 78.

Por otro lado, en lo que respecta a Veracruz, se ha reportado un aumento de 1.98 mm/año (Ocaña y Servín, 2023). Mientras que las costas de Oaxaca y Guerrero han experimentado un decremento en el nivel medio del mar con -1.5 y -2.8 mm al año, posiblemente debido a los movimientos verticales de la corteza terrestre derivados de sismos y/o subsidencia (Estrada y otros, 2023: 22). En la figura 15 se muestra el grado de vulnerabilidad de algunas zonas costeras de México con un escenario de incremento del nivel del mar de 1 y 2 m. respectivamente. Se puede apreciar que en Tabasco el 14% de su superficie terrestre se encuentra vulnerable en caso de que el incremento del nivel del mar sea de 2 metros. Sin embargo, a un nivel más local, 21.1% de la superficie de La Paz, Baja California Sur se encuentra en un estado vulnerable al aumento del nivel del mar.

**Figura 15. Superficie terrestre afectada más vulnerable en escenarios de cambio climático a 1 y 2 m. de aumento del nivel del mar.**



Fuente: Elaboración propia con datos de Reyes-Bonilla, Díaz-Castro y González-Baheza, 2022: 24.

Finalmente, la intrusión de agua salina y su consecuente contaminación de agua dulce debido al aumento del nivel del mar y acrecentado por el exceso de extracción de agua dulce en los pozos ha resultado en la inutilización del agua para consumo humano y otros sectores. Este efecto ya es notorio en los estados de Sonora, Baja California Sur y la Península de Yucatán entre otros (Reyes-Bonilla, Díaz-Castro y González-Baheza, 2020: 22).

Como se puede observar, el ascenso del nivel del mar, las anomalías oceanográficas cálidas y la presión humana (nuevos desarrollos, asentamientos humanos y granjas acuícolas) afectan la integridad de las costas y la producción sustentable (Ezcurra, 2010; 16), al mismo tiempo que constituye un peligro para los sectores residencial y de infraestructura (DOM, 2014: 9). Además, las costas son un elemento importante para el desarrollo de varios sectores como son la industria, turismo, recreación, transporte, pesca, agricultura y acuicultura entre otros (Reyes-Bonilla, Díaz-Castro y González-Baheza y otros, 2020: 22).

Otro aspecto que es al mismo tiempo es causa y consecuencia del cambio climático es la desertificación en el país. Este proceso desemboca en pérdida de las funciones productivas del suelo; alteración de los ciclos biológicos e hidrológicos y la disminución del aporte y servicios ambientales de los ecosistemas. A su vez, esta

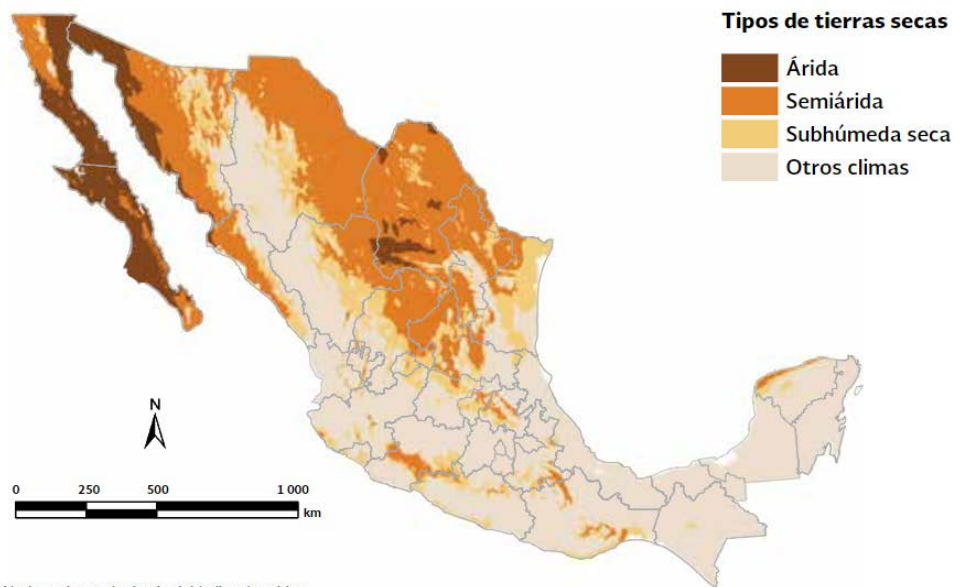
se deriva en variaciones climáticas como baja humedad del suelo, cambios en la precipitación, y temperatura, elevada evaporación, y erosión del suelo como consecuencia de las actividades humanas como la sobreexplotación del suelo por actividad agrícola, sobrepastoreo, deforestación y uso de sistemas de irrigación inadecuados (SEMARNAT, 2012: 143; Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

La desertificación actualmente es catalogada como uno de los problemas ambientales más relevantes del país (SEMARNAT, 2015). Se calcula que 36% de los suelos en México ya presentan procesos severos de degradación, más del 26% del territorio nacional está en proceso de desertificación y cada año se pierden alrededor de 380 mil hectáreas de vegetación forestal, además, y más de 58% de la población reside en zonas áridas. Alrededor de 51 millones de hectáreas están desertificadas y 65 millones de personas son afectadas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020; González, 2022; SEMARNAT, 2015). De manera adicional 175 millones de hectáreas, es decir 89% del país tiene algún proceso de degradación en diferentes niveles (González, 2022).

En México las principales consecuencias de la desertificación son la disminución en la producción alimentaria y aumento de la inseguridad alimentaria, infertilidad y salinización del suelo, reducción en la capacidad de recuperación natural de la tierra, pérdida de la cubierta vegetal y la masa forestal, incremento de inundaciones en las partes bajas de las cuencas, escasez de agua, sedimentación de cuerpos de agua, agravamiento de problemas de salud y aumento del riesgo de aparición de enfermedades zoonóticas como el COVID-19, alteración de los ciclos biológicos, pérdida de los medios de subsistencia de las sociedades, pérdida de rentabilidad vinculada a la degradación de los recursos naturales, agravamiento de la pérdida de biodiversidad y disminución de las reservas de agua potable por pérdida de acuíferos. Por ejemplo, para el año 2015, la salinización afectaba alrededor del 10% de la superficie agrícola irrigada en el país (SEMARNAT, 2012: 144; SEMARNAT, 2015; Iberdrola, 2024).

Asimismo, las tierras áridas, semiáridas y subhúmedas secas son las más vulnerables al proceso de desertificación, y se encuentran principalmente en los desiertos de Sonora y Chihuahua y en las regiones centrales en las Sierras Madre Occidental y Oriental y, para el año 2011 abarcaban cerca de 101.5 millones de hectáreas equivalentes a más del 50% del territorio (SEMARNAT, 2012: 146). Como se puede observar en el mapa 3 también los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Coahuila, Nuevo León y Zacatecas tienen gran parte de su territorio cubierto por tierras áridas y semiáridas, los que los vuelve particularmente susceptibles a la desertificación.

**Mapa 3. Distribución de las tierras secas en México.**



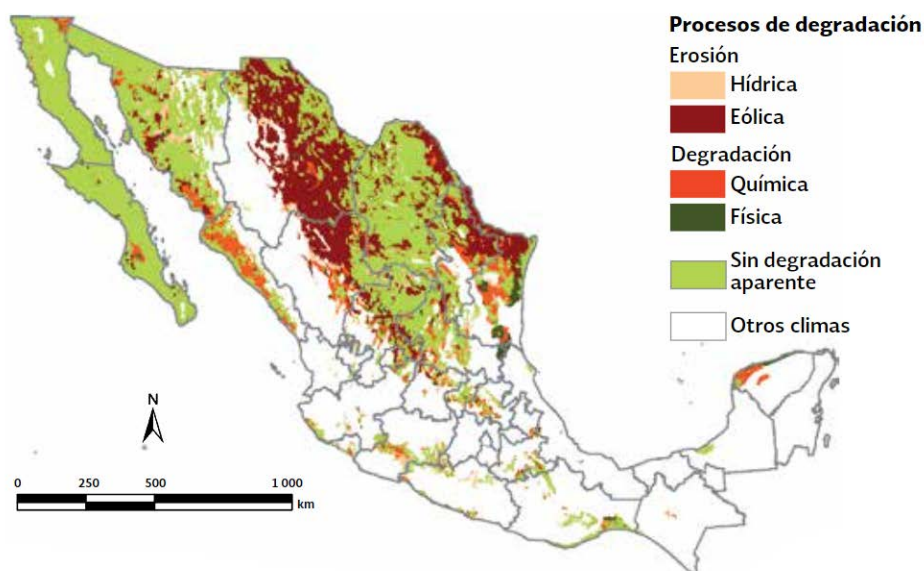
Fuente: Retomado de SEMARNAT, 2012: 146.

Mientras que en el Mapa 4 se observa la distribución espacial de las causas de la degradación del suelo en el país, siendo la degradación eólica la que tiene mayor presencia.

Aunado a los problemas de degradación de las tierras, en la región del Altiplano Potosino-Zacatecano y la Mixteca Poblano-Oaxaqueña, se suma la falta de

alternativas no agrícolas de ingreso, minando los medios de subsistencia de la región y dejándolas expuestas a procesos de migración climática (SEMARNAT, 2015).

**Mapa 4. Procesos de degradación del suelo en tierras secas de México**



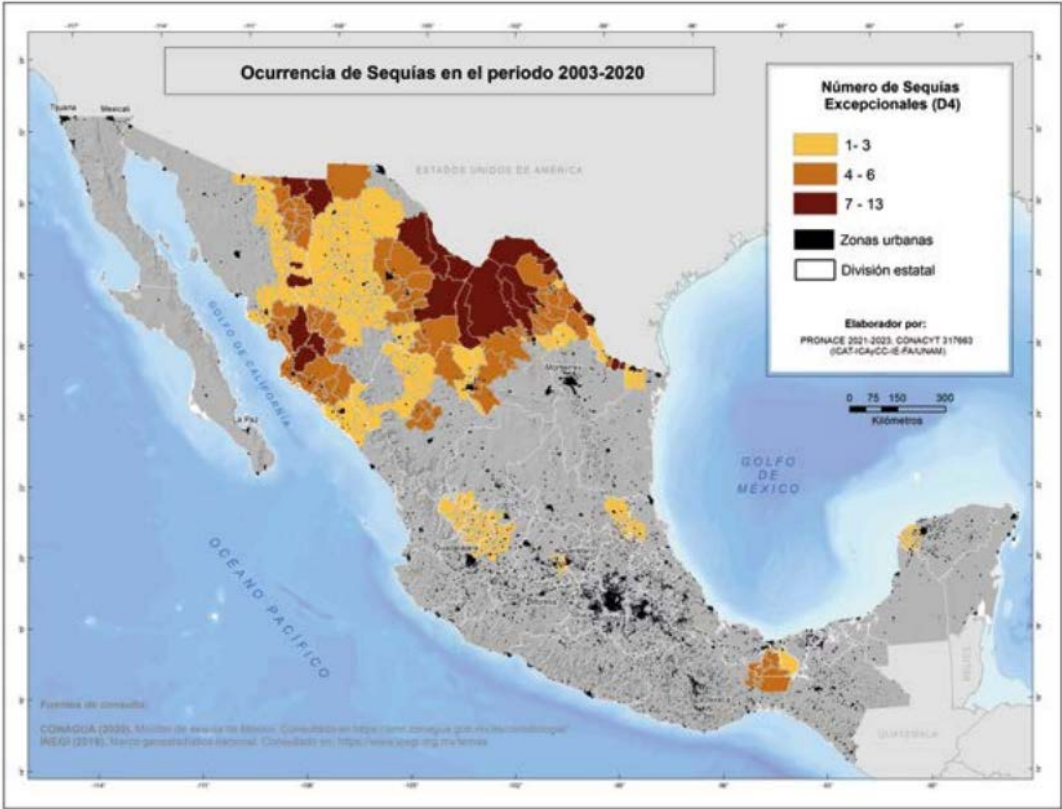
Fuente: Retomado de SEMARNAT, 2012: 149

A su vez, se debe considerar que los suelos sin cobertura emiten mayor cantidad de dióxido de carbono, lo que propicia un incremento en el calentamiento global y en consecuencia impulsan el cambio climático, por lo tanto, es necesario que los sistemas de producción agroalimentaria transiten a un modelo regenerativo y sustentable (González, 2022).

Así mismo, el cambio climático conllevará sequías más frecuentes y severas (Estrada y otros, 2023: 42). Estas pueden presentarse en cualquier lugar, sin embargo, existen áreas en México que tienen una mayor susceptibilidad al fenómeno debido a sus características geográficas y su grado de severidad se determina a partir de la extensión de territorio y tiempo que abarca. Algunos de los daños que pueden producir las sequías son la erosión de los suelos, la pérdida de producción agrícola y ganadera, el aumento de los incendios forestales (SEMARNAT, 2018a: 448).

Específicamente en el norte y centro del país se esperan temporadas de sequías prolongadas (Banco Mundial, 2015: 13). A partir del año 2000, el número de días consecutivos secos ha aumentado de un promedio de 70 a 80 días por año, siendo estados como Baja California, Sonora, Sinaloa y Chihuahua los más afectados con un promedio extra de seis a ocho días adicionales por década. El mapa 5 muestra las sequías excepcionales, las cuales generan pérdidas arriba de lo común y generalizadas de cultivos o pastos y aumentan el riesgo de incendios forestales y escasez de agua (Estrada y otros, 2023: 20-21).

**Mapa 5. Ocurrencia de sequías excepcionales en el periodo 2003-2020.**



Fuente: Retomado de Estrada y otros, 2023: 21.

Como puede verse, la mayor parte de las sequías extraordinarias se encuentran en el norte del país en estados como Chihuahua, Coahuila, Sinaloa y Zacatecas, además de algunas zonas de San Luis Potosí, Aguascalientes, Yucatán, Oaxaca y Veracruz. Además, el porcentaje de área del país afectada por la sequía desde

enero de 2004 hasta enero del año 2020, siendo el año 2012 y 2020 afectados de importante manera.

En cuanto a la precipitación, se puede observar un aumento en el promedio anual en el país a una tasa de 3.1 mm/mes por siglo a partir de los inicios del siglo XX. Sin embargo, la distribución de esta es heterogénea en el territorio y varía entre las estaciones del año. De manera general, la precipitación ha disminuido el noroeste y norte del país, mientras que ha aumentado en el centro y algunas zonas del sur. La mayor disminución de precipitaciones se dará en los estados de Jalisco, Nayarit, Sinaloa, Tamaulipas y Nuevo León, mientras que Oaxaca y Chiapas serán los estados con mayores incrementos (Estrada y otros, 2023).

A pesar de que la precipitación total anual no se ha modificado en gran medida, los eventos de precipitación extrema son más intensos y se presentan en mayor cantidad al mismo tiempo que los periodos de sequía más largos debido a la distribución temporal de la lluvia (De Miguel y Galindo, 2021; Estrada y otros, 2023: 20). Por un lado, los días muy lluviosos han aumentado de un 21% a un 26%, mientras que en los últimos años el aumento fue de casi 25% (Estrada y otros, 2023: 20). Y por el otro lado, se estima que en los próximos años haya una disminución de la precipitación en el país de entre el 10 y 20% (SEMARNAT, 2018a:).

La disminución de las precipitaciones generará que la calidad del agua en la mayor parte de los ecosistemas acuáticos disminuya (Estrada y otros, 2023) y agudizará los problemas inminentes de la crisis de escasez del agua (Cárdenas, 2010). Al mismo tiempo, algunos sectores de México dependen en gran parte de las precipitaciones asociadas al Sistema Monzónico del Norte América (SMNA), por lo que la mayor variabilidad de este provocada por el cambio climático afectará los extremos de precipitación y aumentará el riesgo de inundación y sequía en diversas zonas (CAF, 2014).

Los cambios en la precipitación y sequías derivadas del cambio climático, las prácticas agrícolas poco eficientes, la sobreexplotación de acuíferos y el tratamiento

inadecuado del agua urbana e industrial, afecta la calidad del agua superficial, contamina los acuíferos, y la disponibilidad natural de agua, lo que incrementa la vulnerabilidad principalmente de las regiones áridas y semiáridas de México (IMTA, 2015: 91; Estrada y otros, 2023: 41).

En México, alrededor de 451 mil 585  $m^3$  de agua son explotados anualmente, los cuales provienen de los sistemas superficiales de agua (65%) y de agua subterránea (39%). Son usados en agricultura 59%, 27.5% en abastecimiento público y 13.5% en la industria autoabastecida. Sin embargo, se han registrado alrededor de 275 acuíferos sin disponibilidad de agua para el año 2020 y cerca del 42% de los acuíferos en el país se consideran con disponibilidad comprometida (Estrada y otros, 2023). De acuerdo con el Servicio Meteorológico Nacional, hasta un 87.5% del territorio ha sufrido ya algún nivel de escasez de agua (García, 2022).

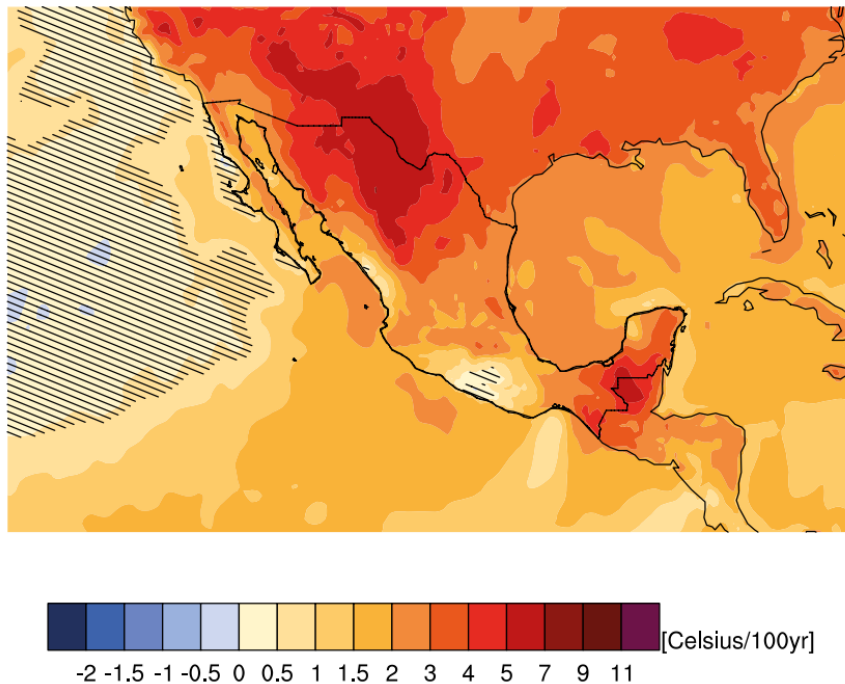
Por otro lado, el año 2021 fue el sexto año más caluroso a nivel global con un aumento de 1.1 a 1.2°C con respecto al periodo preindustrial, mientras que en México el aumento fue de entre 1.59 a 1.81°C. Además, la tasa de aumento de la temperatura por siglo mundial es de 1.9°C (1.78-1.97°C) mientras que la de México es de 2.88°C (2, 77.-3.03°C), lo que significa que México se calienta a un ritmo más rápido que el promedio global (Estrada y otros, 2023; López, 2022). A partir de 1970, en el país la temperatura promedio ha aumentado ya en 0.85°C y además ha habido un incremento en los días cálidos extremos y una disminución de días gélidos extremos y heladas (SEMARNAT, 2018a: 33).

En México, el incremento de la temperatura no es homogéneo de manera estacional. Es mayor en otoño y primavera y menor en invierno y verano (Estrada y otros, 2023), mientras que territorialmente en algunas regiones del norte se han aumentado hasta 6°C por siglo; en el sureste es de casi 5°C y en el centro y gran parte del país ronda los 2°C (López: 2022; Estrada y otros, 2023). Se estima que el cambio climático conllevará un aumento en la temperatura anual de hasta 2° C en el norte del país, mientras que en el resto del territorio irá de 1 a 1.5°C. Además, el

cambio climático local causado por la urbanización puede generar incrementos anuales locales en la temperatura de hasta 8°C (SEMARNAT, 2018a:12, 338). Por ejemplo, la ciudad de México ha experimentado ya un incremento de casi 4°C (López, López y Pardo,2022:8).

En la figura 16 se observa la tendencia de aumento de temperatura en °C por siglo de la temperatura media anual para México en el periodo observado de 1979-2021, y se puede apreciar que, por ahora, Michoacán es el único estado estable junto con Nayarit, además se aprecia que los estados más afectados son Chihuahua, Sonora, Coahuila, Nuevo León y Durango al norte, y Chiapas, Tabasco, Campeche y Quintana Roo en el sureste.

**Figura 16. Muestra de las tendencias de °C por siglo de la temperatura media anual para México en el periodo 1979-2021.**



Fuente: Retomado de Estrada y otros, 2023: 16.

Todas las ecorregiones del país presentan tendencias de aumento de temperaturas tanto máximas como mínimas, así como altos niveles de eventos climáticos y en caso de que el aumento de la temperatura llegue a 4°C, los ecosistemas difícilmente

podrían adaptarse, siendo este escenario posiblemente alcanzado en la región norte de México para el año 2070 (SEMARNAT, 2018a).

De acuerdo con el Sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático de la Organización de las Naciones Unidas, se estima que, si el aumento de la temperatura en el país se mantiene, en los próximos 50 años la población que reside en casi la mitad del territorio tendrá más posibilidades de morir por un golpe de calor, y entre el 5% y el 10% de los animales y especies marinas podrían desaparecer ante períodos más prolongados de calor extremo (González, 2023). Así mismo, en caso de seguir la tendencia actual, para el año 2080 en México cerca de 14 entidades del país tendrán hasta 200 días al año con temperaturas extremas (González, 2023).

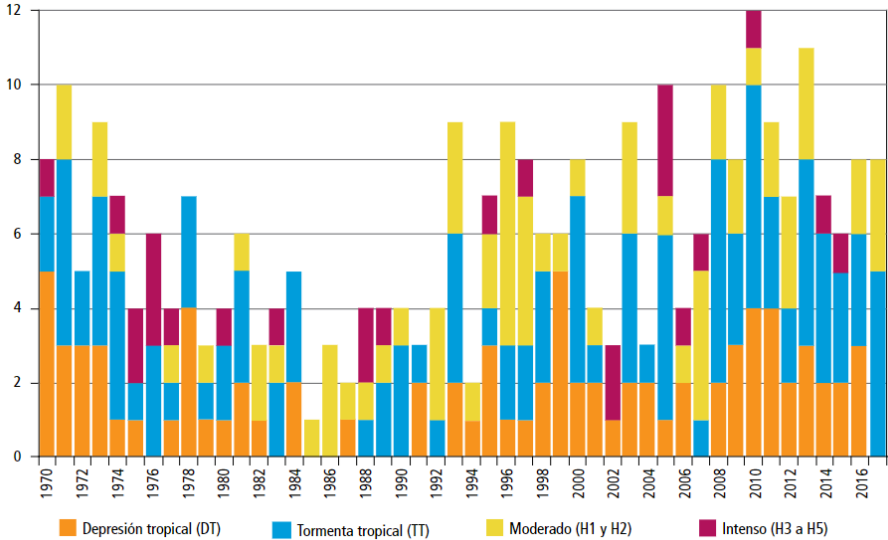
A su vez, históricamente, el país se ha enfrentado a un aumento en el impacto de fenómenos hidrometeorológicos extremos como ciclones tropicales, inundaciones, sequías, frentes fríos, tormentas invernales, heladas, ondas de calor, tormentas de polvo, tornados, trombas marinas, inundaciones pluviales y fluviales, granizadas nevadas, incendios tropicales entre otros (ENCC, 2013; 33; Prieto-González, 2022: 32). Debido a la gran extensión de las costas y la ubicación del país en latitudes medias y tropicales, 60% del territorio puede ser impactado por ciclones tropicales. De manera típica, la temporada de ciclones tropicales es de junio a noviembre en el Océano Atlántico, Mar Caribe y Golfo de México, y de mayo a noviembre en el Océano Pacífico (SEMARNAT, 2018a: 34).

Se ha observado un aumento en las temperaturas superficiales del mar, las cuales afectan el clima costero y pueden provocar mayor incidencia de tormentas extremas. El agua caliente se expande, se hace más ligera e incrementa la estratificación de la columna de agua. Éste fenómeno junto con los cambios en el nivel medio de mareas, y el flujo y disponibilidad de agua dulce en estuarios y humedales costeros, afecta tanto a manglares como arrecifes. En el caso del Pacífico mexicano el aumento registrado de temperatura superficial del mar eleva

la probabilidad de lluvia en invierno en los desiertos del noroeste, mientras que en el sur disminuye la fuerza del monzón, lo que incrementa la probabilidad de huracanes extremos (Ezcurra, 2010). El aumento en la temperatura de la superficie del océano entre 1 y 2°C incrementa la intensidad de ciclones tropicales especialmente en el mar Caribe, el Golfo de México y el Pacífico, y propicia el aumento de la intensidad de vientos en un 6% y precipitación en 16% (Banco Mundial, 2015: 13)

En el periodo de 1970 a 2017 el país fue impactado por 269 ciclones tropicales. Como se puede observar en la figura 17 el número de depresiones tropicales, tormentas tropicales y ciclones o huracanes tanto moderados como intensos varían anualmente.

**Figura 17. Ciclones tropicales que han impactado México 1970-2017.**



Fuente: Retomado de SEMARNAT, 2018a: 34.

El mapa 6 muestra el riesgo municipal por lluvias y ciclones tropicales en el territorio nacional destacan estados como Quintana Roo, Yucatán, Chiapas, Guerrero y Veracruz.

**Mapa 6. Riesgo municipal por lluvias y ciclones tropicales.**



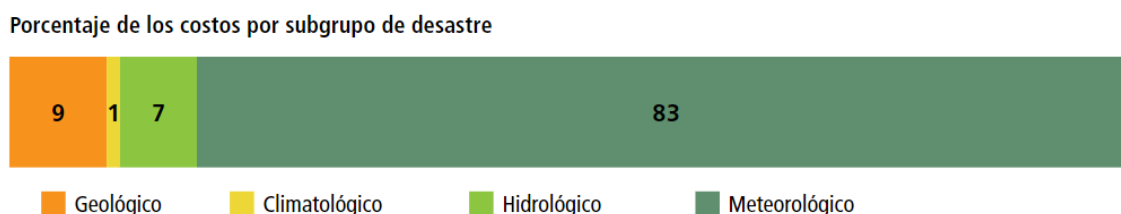
Fuente: Retomado de Prieto-González, 2022: 37.

Se estima que alrededor del 68.2% de la población en México y el 71% del Producto Interno Bruto (PIB) son vulnerables a sufrir los efectos del cambio climático, mientras que 40% del territorio del país está expuesto a eventos catastróficos (García, 2022). En 46% de los municipios tienen riesgo medio a alto a los efectos del cambio climático lo que equivale a 61 millones de personas en peligro de ser afectadas por inundaciones, 54 millones por sequías, 43 millones por olas de calor y 15 millones por transmisión de enfermedades por eventos climatológicos. Aunado a lo anterior, más de 60 millones de mexicanos viven en situación de pobreza o pobreza extrema, es decir se encuentran bajo condiciones desfavorecedoras y serán aún más afectados por el cambio climático (López, López y Pardo, 2022).

De acuerdo con el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN), en el periodo de 1999-2017, 91% de los recursos autorizados por declaratoria de desastre están relacionados con el clima. En las figuras 18 y 19 se puede observar que 83% de los recursos fue en eventos meteorológicos, 7% a hidrológico, 9% geológicos y 1% climatológico. Además, se aprecia como el mayor costo fue dado en el año 2013 por los ciclones tropicales Manuel e Ingrid. Sin embargo, la magnitud del costo de

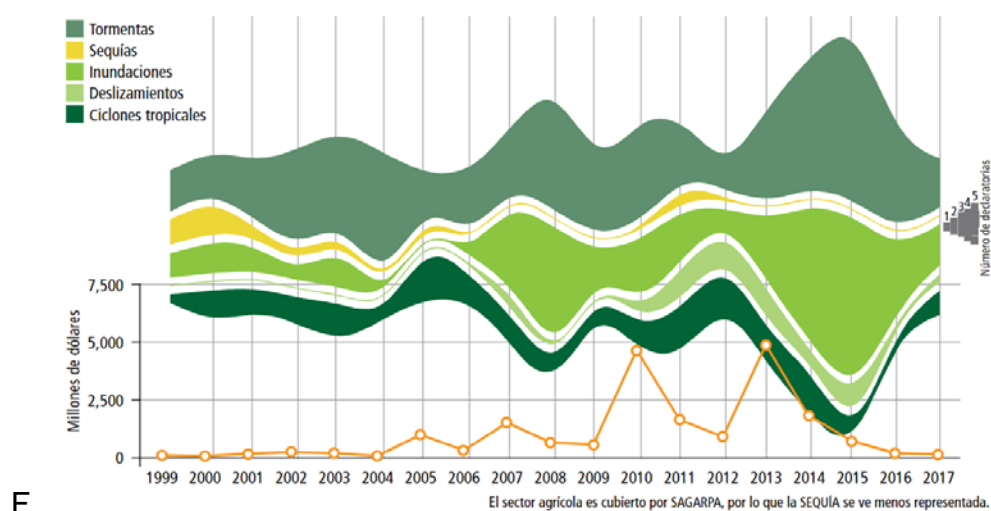
las sequías no está completamente representada debido a que SAGARPA es la institución que cubre al sector agrícola (SEMARNAT, 2018a:465-466).

**Figura18. Gasto total por tipo de declaratoria de desastre 1999-2017.**



Fuente: Retomado de SEMARNAT, 2018a: 466.

**Figura 19. Número de declaratorias por desastres relacionados con el clima (1999-2017) y gasto del FONDEN<sup>8</sup> en millones de dólares por estos desastres.**



Fuente: Retomado de SEMARNAT, 2018a: 466.

Además de los efectos del cambio climático en el medio ambiente, este fenómeno también conlleva efectos sociales en México, uno de los más importantes es el impacto para la salud humana. Actualmente se sabe que existe una relación directa

<sup>8</sup> Fondo de Desastres Naturales.

entre el clima y salud, por lo que el cambio climático ha exacerbado problemas preexistentes como enfermedades cardiovasculares, respiratorias e infecciosas, además de agravar la desnutrición de la población debido a su impacto en el suministro de alimentos y agua, así como su impacto en los sistemas de salud debido a los efectos de los eventos meteorológicos extremos en la infraestructura (WHO, 2016)

Existe evidencia de una asociación entre las condiciones de temperatura y humedad con enfermedades respiratorias, las temperaturas por encima de 33.2°C se han correlacionado con infecciones respiratorias agudas en menores de 5 años, mientras que el aumento y la exposición a  $O_3$  se asocia con un aumento de síntomas respiratorios en niños asmáticos de un 10%, al mismo tiempo que la mortalidad de niños de bajo nivel socioeconómico en la Ciudad de México aumenta (Estrada y otros, 2023).

El aumento en el riesgo de mortalidad por causas cardiovasculares en Zonas Metropolitanas del país es de 7.1% tanto para temperaturas frías como para cálidas (Estrada y otros, 2023). Mientras que en Sonora y Baja California ya se ha reportado una relación positiva y significativa entre aumento de temperatura y mortalidad por golpe de calor (Moreno, 2010).

En el periodo de 2002 a 2010, en el país se registraron 393 fallecimientos debido a calor natural excesivo (Rodríguez, 2018a). Además, recientemente se ha agregado como factor de riesgo para enfermedad renal el aumento de temperatura y las temperaturas máximas medias anuales superiores a 30°C, debido a los periodos de deshidratación y el metabolismo de ciertas hormonas esenciales para el equilibrio hídrico. A su vez, existen registros de una asociación entre temperatura y riesgos a la salud mental, como la tasa de suicidios, particularmente en días con temperaturas entre 30° y 40°C especialmente en varones (Estrada y otros, 2023).

Así mismo, en caso de que la temperatura media aumente por arriba de los 2°C, alrededor de 90 a 200 millones de personas más que en el año 2010 estarán en

riesgo de contraer malaria. Si dicho aumento de temperatura fuera de 3° C entonces este número se elevaría a 300 millones, mientras que entre 5 y 6 millones más estarían en riesgo de contraer riesgo en el país (WWF, 2010: 4).

Para el año 2010, el 33% de la población de México vivía en condiciones favorables para contraer paludismo, siendo las variables climáticas de temperatura, precipitación y humedad los principales factores para el potencial de transmisión de esta enfermedad (Riojas y Hurtado, 2010: 38). También, en algunas costas del Golfo de México ya se ha asociado el incremento en la temperatura de la superficie marina, la temperatura mínima y la precipitación, con un aumento en los ciclos de transmisión de dengue (Moreno, 2010; 24). Así mismo, existe un registro en los estados de Colima y Guerrero en el que por cada grado centígrado de aumento en la temperatura ambiente se elevaron los casos de esta enfermedad en un 1.86% y 1.4% respectivamente (Riojas y Hurtado, 2010).

En caso de inacción para la mitigación del cambio climático, el número de casos de enfermedades por golpe de calor aumentará en 47%, las enfermedades transmitidas por vector 44% y las enfermedades gastrointestinales en 18%. Mientras tanto, en un escenario de mitigación con respecto al Acuerdo de París estas enfermedades aumentarían 38%, 17% y 7% respectivamente (SEMARNAT, 2018a: 345). Entonces, un escenario sin medidas de mitigación implicará severos aumentos en los costos de algunas enfermedades. Por ejemplo, se estima un aumento de entre 62% y 100% del costo por enfermedad de golpe de calor, entre 25% y 31% para enfermedades por vectores y entre 10% y 12% para enfermedades gastrointestinales (SEMARNAT, 2018a: 345-146).

Por tanto, debido a los registros y proyecciones sobre el impacto del cambio climático en la salud humana y el aumento de la mortalidad y morbilidad, es necesario asignar recursos adicionales a los sistemas de salud, así como al seguimiento y control de enfermedades (Sánchez, Ortiz y Mussali-Galante, 2017). Por ejemplo, en el caso del estado de Jalisco, como medida adaptativa ya se ha

generado una estrategia de comunicación de los efectos del cambio climático en la salud, enfocada principalmente a los 13 municipios más vulnerables del estado (SEMARNAT, 2018a: 519).

Otro sector que se ve sumamente afectado, y que al mismo tiempo que contribuye con la exacerbación del cambio climático y el calentamiento global, es el sector energético. Este se ve impactado tanto en la seguridad como en la calidad del suministro de energía eléctrica, en los sistemas de producción y transporte de combustibles y electricidad, así como en la disponibilidad de los combustibles necesarios para todos los sectores productivos (Rodríguez, 2018b; Zamora, 2015:). Los factores de riesgo para un correcto suministro de energía son principalmente riesgos industriales y fenómenos naturales que impactan la infraestructura, además de factores económicos como la dependencia de las importaciones de energía concentrada en pocos proveedores (Rodríguez, 2018b).

Dentro de los principales fenómenos hidrometeorológicos extremos exacerbados por el cambio climático que impactan en la seguridad energética<sup>9</sup> se encuentran: huracanes, tormentas tropicales, tornados, tsunamis, inundaciones y tormentas invernales, entre otros, los cuales han provocado severos daños en la infraestructura, generadora, de transmisión y distribución eléctrica (Rodríguez, 2018b).

Por ejemplo, la tormenta invernal ocurrida en febrero de 2021 en Norte América trajo consigo una limitación en las exportaciones de gas natural a México, lo que tuvo un impacto en la economía y la interrupción de la generación de electricidad en el norte del país, dejando a cerca de 5 millones de mexicanos sin luz debido al frío reportado en Texas (Forbes, 2024; Rodríguez, 2018b). Por consiguiente, debido a que 80%

---

<sup>9</sup> “La seguridad energética es la capacidad de un país para satisfacer la demanda nacional de energía con suficiencia, oportunidad, sustentabilidad y precios adecuado, en el presente y hacia un futuro, que suele medirse por lustros y decenios más que por años.” (Rodríguez, 2018b: 19).

del consumo de gas natural de México depende de Estados Unidos y que 62% de la electricidad en el país proviene de plantas basadas en gas, la dependencia energética al uso de hidrocarburos y las importaciones de este, las condiciones de seguridad energética de México se ven exacerbadas (Forbes, 2024).

A su vez, 5% de los recursos hídricos del país se destinan para energía eléctrica, sin incluir la hidroelectricidad. Por lo tanto, al disminuir la esorrentía y la disponibilidad del agua se pone en riesgo también la generación de energía (SEMARNAT, 2018a). Por otro lado, en el año 2017, entre los meses de agosto y octubre, la refinería de Pemex en Salina Cruz quedó fuera de servicio debido al impacto de fenómenos climáticos, un incendio y dos sismos consecutivos (Rodríguez, 2018b: 16).

En el caso de México, tanto el crecimiento económico como demográfico son el principal factor del aumento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), debido a la quema de combustibles fósiles (Ibarra, 2018). Para el año 2015 se estima que las emisiones directas de GEI fueron de 683 millones de toneladas de  $CO_2$  de las cuales 23.4% provino del autotransporte, 18.3% de la generación eléctrica, 10.3% de la ganadería y 6.7% de los residuos. Al mismo tiempo se calcula que se emitieron alrededor de 112 mil toneladas de carbono negro<sup>10</sup>, de las cuales, 28.3% se derivó del autotransporte, 26.8% de las actividades de procesamiento de alimentos y 26.8% del uso de leña en los hogares del país (SEMARNAT, 2018a).

México emite el 1.4% del total de emisiones globales de  $CO_2$  y es el doceavo país emisor (Ibarra, 2018: 108). El aumento de dichas emisiones en el periodo 1990-2015, osciló en 53.6% con una tasa de crecimiento promedio anual de 1.7% (Catalán, 2021: 63). El sector energético es por mucho el principal causante de

---

<sup>10</sup> Contaminante y forzador climático de vida corto (FCVC)0 (SEMARNAT, 2018:13).

emisión de GEI, seguido por la agricultura, la industria, la silvicultura y cambios de usos de suelo y los desechos (SEMARNAT, 2014).

Para poder mitigar la emisión de GEI, se debe reformular el sector energético del país y reducir la dependencia de combustibles fósiles al mismo tiempo que se concilian las crecientes demandas energéticas, además de buscar la gestión y generación cooperativa, local, democrática y autónoma de energía a partir de fuentes no fósiles como la biomasa, solar, eólica e hidroeléctrica además de reconocer las desigualdades climáticas del país (Ibarra, 2018; CONAHCYT, 2023).

En este sentido, como un esfuerzo gubernamental, en el año 2015 se promulgó la Ley de Transición Energética (LTE) en el país, con el objetivo de regular el aprovechamiento sustentable de la energía y las obligaciones en Energías Limpias, así como la reducción de emisiones por parte de la Industria Eléctrica cuyas metas eran que para el año 2018 el 25% de la energía eléctrica proviniera de energías livianas para el 2021 el 30% y para el 2024 el 50% siendo esta la meta máxima (Ibarra, 2017).

Para tal efecto es necesaria una transformación radical del sistema económico y energético donde, por un lado, es necesario reducir el privilegio y derroche de energía de los sectores económicamente más altos y por el otro lado buscar erradicar la pobreza energética, es decir, asegurar el acceso digno a toda la población (CONAHCYT, 2023). Siendo que para el año 2015 se estimaba que alrededor del 1.3% de los hogares del país no disponía de energía eléctrica (SEMARNAT, 2018a).

Por otro lado, México tiene dos tipos de medidas para la mitigación de GEI, las medidas no condicionadas y las condicionadas. Las medidas no condicionadas buscan la reducción del 25% de sus emisiones de GEI y contaminantes climáticos de vida corta para el 2030, lo que corresponde a una reducción del 22% en emisiones directas de bióxido de carbono, metano, óxido nitroso y gases flurocarbonados en comparación a las emitidas en el año 2013, así como la

reducción del 51% de emisiones de partículas de carbono negro. Mientras que las medidas de mitigación condicionadas son las que dependen de recursos financieros y tecnológicos dados mediante la cooperación internacional (Ibarra, 2017). En este sentido, en el periodo de 2012 a 2016, la producción de energía a partir de carbón en México decreció 18.2% mientras que la oferta de energía nuclear aumento 20.3% (SEMARNAT, 2018a).

Así mismo, existen alternativas que contribuyen a la adaptación al cambio climático y que al mismo tiempo pueden brindar beneficios económicos y ambientales como son la implementación del transporte público y movilidad colectiva electrificada, calentadores solares de agua, estufas eficientes de leña, cogeneración de electricidad y calor con bagazo de caña en los ingenios azucareros y la eficiencia y economía circular en la industria entre otros (CONAHCYT, 2023: 4).

Por otro lado, el clima y el ambiente tienen un gran impacto sobre diversos sectores como el turismo. Para este, el medio ambiente es visto como un atractivo turístico y es considerado como su producto principal, por lo que la mayor parte de las actividades turísticas se realizan al aire libre que dependen de condiciones meteorológicas favorables para el disfrute, confort y seguridad de los turistas (SECTUR, 2014: 20).

En México este sector es una de las principales fuentes de ingresos y a nivel internacional ocupa el octavo lugar en llegadas internacionales y el decimocuarto lugar en ingresos de turismo internacional de 157 naciones que integran la Organización Mundial del Turismo (OMT) (Nava, 2017). Para el periodo de 2012-2016 el turismo generó diez millones de empleos directos e indirectos y representó el 8.5% del PIB nacional, al mismo tiempo que experimentó un crecimiento económico del 30% (SEMARNAT, 2018a).

Además, se calcula que 85% del consumo turístico interno representa al turismo nacional siendo los destinos de sol y playa los más reconocidos, seguido por los destinos ecológicos y de aventura (SEMARNAT, 2018a: 61). En cuanto al turismo

internacional, sus principales destinos son los de playa, principalmente los centros integralmente planeados en las regiones de Cancún y Cozumel y los Cabos (Nava, 2017: 338).

La figura 20 muestra los impactos del cambio climático para el sector turístico y su clasificación.

**Figura 20. Principales impactos del cambio climático en el sector turístico**

### **Repercusiones climáticas directas**

Derivadas de las modificaciones en la duración y la calidad de las estaciones.

### **Repercusiones indirectas de los cambios ambientales**

Afectaciones al contexto como infraestructura urbana, atractivos naturales y el paisaje socio cultural.

### **Repercusiones de las políticas de mitigación de GEI en la movilidad turística**

Restricciones en los destinos turísticos lejanos, aumento en costos por aplicaciones de impuestos, sanciones o precios altos.

### **Repercusiones indirectas de los cambios sociales**

Cambios socioambientales que amenazan el crecimiento económica y la estabilidad socioeconómica de los destinos turísticos.

Fuente: Elaboración propia con base en SECTUR, 2014:22.

Además, los efectos del cambio climático en el país son heterogéneos siendo sus principales impactos dados por el aumento del nivel del mar, erosión de la zona de playa, blanqueamiento de corales por el aumento de temperaturas, aumento en

frecuencia e intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, inundaciones por marea de tormenta y fluviales, así como los cambios en las enfermedades por vectores. Por tanto, se espera que este fenómeno modifique los patrones del turismo internacional, y se espera que el flujo de los turistas se desplace hacia destinos en altas latitudes mientras que el turismo doméstico se incrementa (SEMARNAT, 2018a).

Por ejemplo, la erosión costera es uno de los efectos del aumento del nivel del mar, siendo destinos como Cancún (5.86m/año), Mazatlán (1.08m/año) y la Riviera Maya (1.22 m/año), los más afectados mientras que los menos afectados son Veracruz y Huatulco (SECTUR, 2014: 25-26). Así mismo, las mareas de tormenta en los principales destinos turísticos costeros del país se pueden clasificar como altas, muy altas y extraordinarias, esto muestra una alta vulnerabilidad por inundación en las costas mexicanas, siendo Cancún el destino más vulnerable con más de mil unidades económicas vulnerables asociadas al sector (restaurantes y hoteles) seguido por Puerto Vallarta con 650 y Veracruz con alrededor de 600 (SECTUR, 2014: 26-27).

Además, en cuanto a las inundaciones fluviales, 8 de los diez destinos estudiados por la SECTUR (2014: 27) son muy altas debido a la presencia de ríos o arroyos con caudales mayores a los  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  que son proclives a desbordarse y a causar afectaciones en zonas urbanas o de infraestructura turística.

A su vez, hay hasta 66% de probabilidad de que a partir del año 1970 se haya incrementado la intensidad de los ciclones tropicales en ciertas regiones del Atlántico del Norte. En lo que respecta a México, se ha observado un aumento del número de depresiones tropicales en el Golfo de México y en el Caribe, siendo el año 2004 la tercera temporada más activa registrada desde el año 1950 y el año 2005 la más activa registrada hasta la fecha. También se observó que para el periodo de 1980-2007 en el estado de Quintana Roo impactaron seis huracanes mientras que para Baja California se registraron doce. Si bien en Baja California

hubo el doble de eventos estos fueron de categoría tres para abajo, mientras que en Quintana Roo fueron de categoría 5 y 4 por lo que son un menor número de eventos, pero de mayor intensidad (Nava, 2017:360-361-362).

Por otro lado, los corales serán impactados por la acidificación del mar, los cuales son responsables de sostener las cadenas alimentarias de la vida marina y son de gran importancia para el turismo y la pesca. Entre los arrecifes más importantes de México se encuentran la porción norte del Arrecife Mesoamericano, que es la segunda barrera de coral del planeta y la más larga del hemisferio occidental, esta se extiende por Belice, Guatemala, Honduras y México (SEMARNAT, 2018a: 315).

En este sentido, bajo un escenario de inacción se estima que Quintana Roo podría tener pérdidas acumuladas durante el siglo XXI de cerca de \$107 mil mdd, mientras que en Jalisco estas pérdidas representarán \$52 mil millones de dólares (SEMARNAT, 2019: 347).

Por tanto, deben tomarse medidas y acciones para la mitigación de las emisiones de GEI a la par que se implementan medidas de adaptación en los destinos turísticos.

Por otro lado, la agricultura también es un sector muy vulnerable al cambio climático debido a su alta dependencia a las condiciones del clima, a su vez que es de gran importancia debido a que representa el principal canal de los impactos del cambio climático en la pobreza (SEMARNAT, 2018a: 348).

En México, para el periodo entre 2012 y 2016, la agricultura representó 61.4% del PIB agropecuario y tuvo un crecimiento del 17.2%, siendo los principales cultivos básicos estratégicos el arroz, frijol, maíz, trigo, soya y sorgo (SEMARNAT, 2018a). En la actualidad alrededor de 24.6 millones de hectáreas del país están destinadas a la agricultura, lo que representa 12.5% del total del territorio nacional, de los cuales 27.8% es de agricultura de riego y 75% es de agricultura temporal, sin embargo, el 72,2% de la producción nacional proviene de la agricultura de riego. Además,

representa el medio de vida de 5.4 millones de personas y alberga al 11.9% de la población económicamente activa (Mendoza y otros, 2023:), Así mismo alrededor de 8.9 millones de personas se dedican a la generación o transformación de bienes agropecuarios y pesqueros (González, 2023).

Para la agricultura en el país, el cambio climático generará un incremento de incendios forestales, modificaciones en las fronteras agrícolas, estrés hídrico, aumento del número de sequías severas y grandes inundaciones, aumento de presencia de plagas, cambios en los rendimientos de las cosechas, modificaciones en la calidad nutricional de los cereales, así como afectaciones en la productividad tanto agrícola como ganadera (González, 2023). Tanto los cultivos de temporal como los de riego son sensibles a los cambios de temperatura y precipitaciones, por lo que se pone en riesgo la producción y esto se verá reflejado en los precios finales de los productos, afectando la economía de la sociedad (Magaña y Gay, 2002: 14). Siendo que en México ya se ha observado la pérdida de producción agrícola y que para el año 2050 se espera una disminución en la producción de cultivos de 5% (CAF, 2023: 93).

De manera generalizada el cambio climático traerá impactos negativos sobre los diversos cultivos que se siembran en el país. Cinco de los seis cultivos más importantes de México tendrán decrementos en sus rendimientos de hasta 59% y cuyas afectaciones serán de alrededor de 38 mil millones de dólares. Dichos cultivos representan 63% del área cosechada en el país, siendo los estados de Veracruz, Sinaloa, Tamaulipas y Jalisco los que sufrirán alrededor del 50% de las pérdidas económicas (Mendoza y otros, 2023).

En el caso del maíz, se estima una reducción en sus rendimientos en algunas zonas del país de hasta 80% así como una disminución de entre el 3 y 18% de su idoneidad climática. Para este cultivo, las pérdidas estimadas para el maíz de temporal son de entre 20 y el 40% del rendimiento a causa del cambio climático en los estados de Jalisco, Estado de México, Nayarit, Morelos, Michoacán, Guerrero y Colima (López,

López y Pardo, 2022). Mientras tanto, ya se tienen registrados disminuciones en los rendimientos del café tanto de riego como de temporal para el periodo 2010-2020 42.5% y 23.4% respectivamente. Para el trigo, para el año 2050, su rendimiento disminuirá en 23,3% y 20% en cultivos de temporal y riego. Mientras que, en lo que respecta al frijol, se han encontrado variedades con un mayor índice de adaptación a más climas secos y cálidos que podrán resistir los cambios en la temperatura y la precipitación (Mendoza y otros, 2023).

Existe evidencia de diversos impactos en las propiedades del suelo derivadas del cambio climático que a su vez impactarán en la agricultura. Por ejemplo, la temperatura de la superficie del suelo apta para la mayoría de los cultivos se reducirá en cerca un 18%, el agua disponible en el suelo disponible para las plantas se reducirá en un 45% y el contenido de carbono ideal del suelo disminuirá de un 33% en la actualidad hasta un 1.9% en un futuro en caso de inacción (SEMARNAT, 2018a). En este sentido, para el año 2050 se prevé la disminución de la fertilidad en los suelos en 25% (DOM, 2014).

Así mismo, la disponibilidad natural del agua ha disminuido derivado del cambio climático y las modificaciones en los patrones de precipitaciones. En México se estima que se explotan alrededor de 451 mil 585 millones de  $m^3$  de agua al año, de los cuales, alrededor del 59% se destina a la agricultura. Por tanto, se espera que las modificaciones del ciclo hidrológico en el país afecten de manera directa a la agricultura, siendo la agricultura de subsistencia la más afectada (Estrada y otros, 2023).

En un escenario de inacción en la mitigación del cambio climático, se espera la reducción de la producción agrícola en el país, lo que implicará costos socioeconómicos presentes y futuros, siendo dichas reducciones en los rendimientos de entre 5% y 20% hacia el año 2040 y de hasta un 80% para finales de siglo para algunos cultivos y estados del país. Por ejemplo, se espera que para el año 2100 la reducción en la producción de maíz de temporal en los estados de

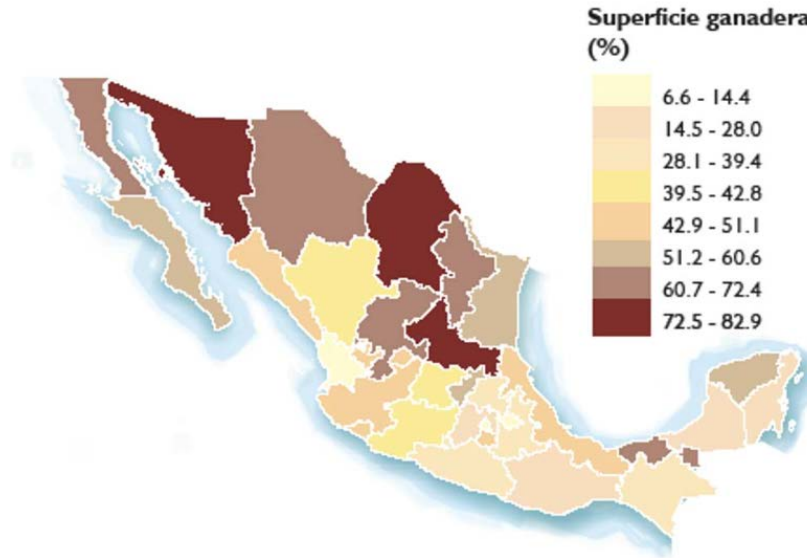
Jalisco, México, Nayarit, Morelos, Michoacán, Guerrero y Colima podrían ser de hasta 30% y 40% (SEMARNAT, 2018a: 341).

Entre los años 1995 y 2003 las catástrofes agrícolas fueron dadas en un 80% por sequías, 17% huracanes, 2% lluvias y 1% heladas. Sólo el cultivo de maíz registrará una disminución de entre 29 y 45% respecto al rendimiento de la producción actual. Tomando en cuenta solo la producción de caña de azúcar, maíz, naranja, trigo, café y frijol, se estima una pérdida en la producción debido al cambio climático de entre 42 y 57%, es decir, 36 mil millones de pesos aproximadamente (Cárdenas, 2010b). Siendo las sequías uno de los impactos más severos del cambio climático en el sector, se tienen registro de pérdidas de hasta de 50% en la agricultura y la ganadería debido a estos fenómenos que cada vez son más frecuentes (SEMARNAT, 2018a).

También se ha identificado que la agricultura de zona norte del país es más afectada por las sequías, mientras que en el sur son los fenómenos hidrometeorológicos y los ciclones tropicales los que han generado mayor daño en los cultivos. Esto derivado de las fuertes lluvias y a que 60% del territorio mexicano se ve afectado por los efectos de los ciclones tropicales, ambos fenómenos favorecen la propagación de plagas y la erosión del suelo (Portal ambiental, 2023).

En cuanto a la ganadería, para el periodo de 2012-2016 aportó el 32.1% del PIB agropecuario y tuvo un crecimiento de 1.7%. Su extensión para el año 2014 abarcaba alrededor de 81 millones 758 mil 631 hectáreas, lo que equivalía a 74.8% de la superficie agropecuaria en el país. Su producción corresponde en un 67% a ganado de pie como ganado bovino, ovino, caprino y porcino y 33% a aves (SEMARNAT, 2018a). El mapa 7 muestra la superficie ganadera por entidad federativa en el cual destacan estados como Sonora, Coahuila y San Luis Potosí con una superficie dedicada al ganado de entre el 72.5 y el 82.9% de su territorio total, seguido de Baja California, Chihuahua, Nuevo León, Zacatecas y Tabasco.

**Mapa 7. Superficie ganadera en México por entidad federativa**



Fuente: Retomado de Murray, 2022a.

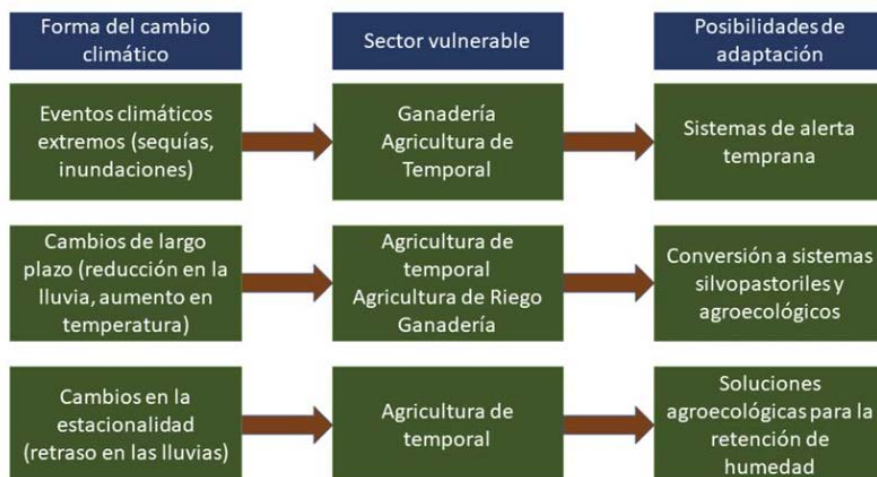
Sin embargo, debido al aumento de la población y de la demanda de productos cárnicos y lácteos, la producción nacional o las importaciones tendrían que aumentar en un 20.33% y 9.75% en 2050 y 2100 con respecto a los niveles actuales (Basurto y otros, 2023: 29). Esto conllevará a una eventual expansión ganadera que traerá como consecuencia la destrucción de hábitats naturales, el sobrepastoreo y el agotamiento de los pastizales (Murray, 2022a).

En este sentido, se estima que para el año 2002, el sobrepastoreo alcanzó alrededor de 43.35% del total de la superficie ganadera del país y para el año 2016 los estados de Chihuahua, Sonora y Durango ya tenían una degradación del suelo de 71.2%, 55.5% y 52.25% respectivamente (Juárez, 2023). Actualmente se calcula que el sobrepastoreo afecta alrededor de una cuarta parte de la superficie agrícola, lo que equivale a treinta millones de hectáreas del territorio nacional. Si a esta cifra se le agrega la degradación del suelo por compactación, deforestación y erosión, se puede observar que el 80% de la superficie ganadera se encuentra ya afectada (Murray, 2022a).

La ganadería intensiva y extensiva genera altos impactos en el medio ambiente debido a múltiples factores como los cambios de uso del suelo, deficiente manejo de tierras, inadecuados sistemas de pastoreo, sobreexplotación de recursos naturales y produce altas emisiones de GEI, degradación del suelo y reducción de la biodiversidad (Juárez, 2023). Al mismo tiempo, los eventos climáticos extremos derivados del cambio climático como sequías, heladas, inundaciones y huracanes provocarán que la superficie ganadera reduzca su productividad (Murray, 2022a). En este sentido, sólo las sequías han llegado a generar pérdidas tanto en la agricultura como en la ganadería de hasta en 50% (SEMARNAT, 2018a). Lo que toma mayor relevancia si se considera que las peores tres sequías del siglo se dieron en los últimos diez años: 2011, 2021, 2022 (Murray, 2022b), y que, a partir del año 2021, 85% del país se enfrentó a sequías y falta de agua (López, López y Pardo, 2022).

A continuación, en la figura 21, se pueden observar algunas formas en las que el cambio climático tanto en la actualidad como en el futuro pueden generar impactos sectoriales, así como algunas posibles medidas de adaptación.

**Figura 21. Formas del cambio climático actuales y futuras, así como sus potenciales impactos sectoriales y algunas propuestas de adaptación sugeridas por la ciencia actual.**



Fuente: Retomado de Murray, 2022b.

El cambio climático ha provocado cambios en la estacionalidad de las lluvias, las precipitaciones tienen un inicio cada vez más tardío mientras que la canícula ha aumentado su duración (Murray, 2022b). De manera adicional, en la temporada de secas, los incendios forestales son cada vez más comunes, cuyas proporciones pueden ocasionar pérdidas diversas y de coberturas forestales (SEMARNAT, 2018a: 465).

Además, de acuerdo con Basurto y otros (2023: 30), con un aumento de la temperatura en 1°C adicional en la temperatura, se puede observar una disminución en los ingresos por cabeza de ganado entre 14.42% y 33.83% de los niveles actuales. Por lo tanto, el cambio climático es una seria amenaza para la rentabilidad de la actividad (Murray, 2022a).

Como una medida de mitigación, México busca reducir el 8% de las emisiones del sector agrícola y ganadero a partir del impulso de la tecnificación sustentable del cambio, instalación de biodigestores en granjas y recuperación de pastizales (SEMARNAT, 2018a: 299). Otras opciones de medidas para la reducción sustancial de las emisiones del sector ganadero son: mejorar la productividad para reducir la intensidad de emisión mediante la adaptación del ganado a entornos cambiantes y la resistencia al estrés y enfermedades, así como utilizar los pastizales como sumideros de carbono e integrar a la ganadería en la bioeconomía circular (Juárez, 2023).

Por otro lado, el cambio climático tiene una estrecha relación con la pesca y las especies marinas particularmente debido a su relación con la temperatura del mar y sus efectos en los cambios en la abundancia y distribución de las poblaciones marinas. Siendo que, en México, la magnitud y rapidez de estas respuestas dependen de cada especie, ecosistema y zona en particular siendo su principal impacto la disminución local de recursos e ingresos y el aumento de los costos de pesca, por lo que las estrategias de manejo deberán ser diseñadas de manera particular (Cisneros-Montemayor, 2020:32).

En México, para el año 2017, el sector pesquero registró una producción de 35 mil millones de pesos mexicanos correspondientes a 19% del PIB nacional, lo que representa un aumento de 36.7% a la producción dada en el periodo 2012-2016 (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2017). Para 2016 los más obtenidos fueron la sardina con 441 mil 608.2 toneladas (ton), camarón 225 mil 073 ton, mojarra con 183 mil 085 ton y atún 113 mil 974.7 ton. La aportación en el periodo de 2012 a 2016 de la pesca, caza y captura del 2.6% del PIB agropecuario y presentó un crecimiento de 52.4% en el mismo periodo (SEMARNAT, 2018a: 60). En este sentido las especies más afectadas por el cambio climático se prevé que serán ciertos grupos de peses e invertebrados tales como ostiones y camarones, con disminuciones de hasta 38% en sus poblaciones (Cisneros-Montemayor, 2020).

En este sentido, de acuerdo con un estudio, con datos de captura tanto registrada como no reportada así como distintos escenarios de cambio climático, se encontró que, bajo un escenario de calentamiento alto (RCP 8.5), para el año 2050 podría observarse una reducción en el potencial máximo de captura de alrededor de -46% ( $\pm 9$ ) en el Atlántico y -4% ( $\pm 9$ ) en el Pacífico mientras que en un escenario de bajo calentamiento (RCP 2.6) provocaría una disminución de -20% ( $\pm 22$ ) y -1% ( $\pm 3$ ), respectivamente. Las zonas más afectadas serán el Banco de Campeche y la Península de Yucatán, mientras que en el Pacífico algunas zonas como en Baja California podrían incluso presentarse aumentos en la captura. Estos cambios dependerán del tipo de especie, así como de las zonas de estudio (Cisneros-Montemayor, 2020).

Se debe buscar que la pesca sea no sobreexplotada, es decir que aproveche o haga uso de los recursos marinos sin rebasar el rendimiento máximo sostenible de acuerdo con las leyes locales, nacionales e internacionales, lo cual podría producir un detrimento mayor a la biodiversidad marina y cambios en sus ciclos biológicos. La tasa de crecimiento anual promedio para la pesca no sobreexplotada en el país es de 4.7% en el periodo 2012-2017, sin embargo, el crecimiento de la demanda es mayor con respecto a las tasas de aprovechamiento pesquero permitido

(SEMARNAT, 2018a: 394-396). Por tanto, debe ser una prioridad terminar con la pesca furtiva y la sobreexplotación pesquera de manera tal que se equilibren los beneficios económicos de los pescadores con la conservación de las especies y ecosistemas marinos a largo plazo (SEMARNAT, 2018a).

Un tema íntimamente ligado a los impactos del cambio climático en la agricultura, ganadería y pesca y su imperante disminución de productividad es la seguridad alimentaria. Por ello, se debe fomentar la productividad sostenible de estos sectores tomando en cuenta la preservación de los ecosistemas y recursos naturales con medidas como por ejemplo no aumentar las fronteras agrícolas y optimizar el uso y conservación de recursos naturales (SEMARNAT, 2018a)

La seguridad alimentaria en el país será dada en el momento en el que la población tenga acceso físico y económico a alimentos suficientes, seguros y nutritivos para una vida sana (Pérez, 2019). No obstante, el cambio climático hará más difícil satisfacer las necesidades humanas de alimentación debido a que, por ejemplo, alrededor de dos terceras partes de la ingesta calórica humana proviene del maíz, trigo y arroz, todos estos cultivos sumamente sensibles al cambio climático (Estrada, 2023). Por ejemplo, en México, alrededor del 40% de la superficie sembrada del país corresponde a cultivos de maíz y nacionalmente se consume cerca del 30% de este (Ureta, 2022).

A pesar de que México es un gran productor de alimentos, también depende de las importaciones, lo que pone en peligro la soberanía alimentaria nacional (Mendoza y otros, 2023:). Además, históricamente en el país no se ha favorecido la seguridad y autosuficiencia alimentaria a costa de la soberanía, es decir, que a pesar de que el país cuenta con una producción aceptable y suficiente para el consumo humano, así como la posibilidad de cultivar alimentos con diferentes métodos como los invernaderos y hortalizas protegidas por tecnología y con correcto uso de energía y agua, se ha dado prioridad a las exportaciones (Pérez, 2019).

El cambio climático tiene afectaciones directas y severas, y para finales de este siglo podría poner en riesgo de hambre a entre 5 y 170 millones de personas adicionales dependiendo del desarrollo socioeconómico del entorno (SEMARNAT, 2018a: 348). Todos los factores anteriormente expuestos se vieron agravados debido a la pandemia de SARS-COV19, llegando a un 60% de hogares con inseguridad alimentaria en el país (Morales, 2023).

Una medida útil para mejorar la seguridad alimentaria en México es buscar aumentar la producción y no tener que importar grano, al mismo tiempo que se cuida la compra-venta por medio de asociaciones público-privadas y beneficiando a los pequeños productores (Govaerts, 2023; 11). En este sentido, actualmente la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural impulsó el Programa de Cultivos para México, al mismo tiempo que se desarrolló el Atlas Molecular del Maíz, ambos como un esfuerzo por impulsar la industria semillera nacional y evaluar los diversos rendimientos de las variedades estudiadas (Morales, 2023).

Otras recomendaciones son mantener abierto el comercio de los alimentos y fertilizantes, mantener protección social y apoyo a las personas más vulnerables y hacer un seguimiento de los precios de los mercados y del comercio, mientras que a largo plazo se debe buscar diversificar los proveedores de alimentos, reducir los desperdicios y pérdidas de alimentos, buscar disminuir las emisiones de GEI, incrementar la eficiencia del uso de los fertilizantes así como buscar la producción sostenible y resiliente (Godoy, 2023: 13). Al mismo tiempo se requiere buscar un desarrollo rural más incluyente y equitativo, con acceso a recursos, servicios, tecnología e infraestructura (Beduschi, 2023). En la actualidad se debe buscar revertir los índices de pobreza, inseguridad alimentaria y desnutrición para lo cual se debe modificar la productividad agrícola y la sostenibilidad ambiental mediante mecanismos de comercialización y el fomento de las economías locales (Montenegro, 2023).

Más aún, otro impacto importante del cambio climático es el deterioro en la calidad del aire, esta se refiere al estado del entorno tanto atmosférico como en interiores, y es un aspecto fundamental para la salud humana. Siendo que la principal contaminación del aire en las ciudades proviene de la quema de combustibles en fuentes móviles como vehículos o estacionarias como columnas de humo. Siendo que, los efectos del cambio climático se incrementarán debido a la mala calidad del aire y viceversa (SEMARNAT, 2018a: 416, 185).

La mala calidad del aire es un importante riesgo medioambiental para la salud que impacta de manera directa en la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cáncer de pulmón y neumopatías crónicas agudas como el asma (Páramo, 2019). Un estudio realizado por el INECC con datos del año 2010 reveló que en las Zonas Metropolitanas del Valle de México (ZMVM), Guadalajara (ZMG) y Monterrey (AMM) podrían evitarse pérdidas de 45 mil millones de pesos y evitar 2 mil 170 muertes prematuras en caso de que cumplieran los límites recomendados por la OMS en concentración de partículas  $PM_{2.5}$  (SEMARNAT, 2019).

Para el año 2014, México emitió alrededor de 23.3 millones de toneladas de contaminantes de las cuales el 48.5% provino de fuentes antropogénicas. Siendo el estado de Veracruz el que tiene una mayor emisión de contaminantes antropogénicos, seguido por Oaxaca, Chiapas, Puebla, Guerrero y el Estado de México, en cuanto a las emisiones por fuentes naturales destacan Campeche, Chiapas y Quintana Roo (SEMARNAT, 2019: 283, 288).

La reducción de las emisiones de formantes climáticos de vida corta (FCVC) mitigará el cambio climático global y tendrá beneficios a la salud humana y de los ecosistemas, así como en la mejora de la calidad del aire y daños a los cultivos agrícolas (SEMARNAT, 2018a). Por tanto, buscar alcanzar las metas del Acuerdo de París mejorará la calidad de los ecosistemas, la calidad del aire y evitará daños en los cultivos agrícolas y la seguridad alimentaria (SEARNAT, 2018).

En México, para 2017, ya se habían establecido 249 estaciones y redes de monitoreo en 30 entidades localizadas en ciudades, zonas metropolitanas y localidades con una intensa actividad empresarial con la finalidad de monitorear la calidad del aire y las distintas concentraciones de contaminantes a los que la sociedad se encuentra expuesta. Siendo la red de monitoreo de la ZMVM la más grande del país (SEMARNAT, 2019). Estos Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire (SMCA) han permitido la medición y creación de estrategias para enfrentar esta problemática en las grandes ciudades (Páramo, 2019).

En el país el  $O_3$  se ha convertido en un problema de calidad del aire principalmente en las zonas metropolitanas y se ha convertido en un problema de salud, y ha sido monitorizado por programas de monitoreo atmosférico en las principales ciudades mexicanas. Éste es un forzante climático que representa diversas dificultades para su monitoreo y su reducción es de gran importancia para mejorar la calidad del aire. Para su monitoreo existen 165 estaciones en el país, localizadas en 57 ciudades de 29 estados, lo que incluye las tres principales zonas metropolitanas del país; Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey (SEMARNAT, 2018a).

De acuerdo con la Semarnat (2018), los límites de protección para la salud del ozono ( $O_3$ ) y las partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros ( $Pm_{10}$  y  $Pm_{2.5}$ ) no se cumplen en general en las megalópolis (SEMARNAT, 2018a). Además, en muy pocas ciudades como Mexicali y Mérida se cumplieron los límites normados de Ozono para la protección de las ciudades (Páramo, 2019).

La calidad del aire fue puesta como una prioridad a partir del año 2012 con la Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, debido a sus impactos negativos en la salud de la población urbana (SEMARNAT, 2012). Se estima que, en caso de reducir las concentraciones de  $PM_{10}$  a los valores recomendados por la OMS las muertes prematuras disminuirían en 15% (SEMARNAT, 2017: 19).

Además de lo anterior, otro efecto que impacta en la calidad del aire es el efecto de isla de calor o islas térmicas urbanas asociada a la expansión urbana, pérdida de la cubierta vegetal y agotamiento de los mantos freáticos y a su vez se relaciona con sus impactos en el microclima urbano y la sensación térmica (SEMARNAT, 2018a). Por lo que, aunado a su alta cantidad de emisiones y las altas concentraciones de contaminantes, el efecto isla de calor vuelve más vulnerable a las urbes y a sus habitantes a los efectos de la mala calidad del aire, principalmente en la salud.

Para 2019, el país registro muy altos niveles de contaminación atmosférica debido a los incendios que afectaron más de 343 mil 545 hectáreas en 32 estados entre los meses de enero y mayo. Como consecuencia el gobierno federal cerró escuelas y recomendó a la población no salir de sus casas (Maxwell, 2019).

Finalmente se estima que 15% del territorio de México es altamente vulnerable al cambio climático, así como el 68.2% de la población y 71% de su economía (Ibarra, 2018; López, López y Pardo, 2022; Cárdenas, 2010b). Los daños y costos acumulados durante este siglo serán de alrededor del 50% y hasta más del 80% del Producto Interno Bruto (PIB) actual de México (López, 2022). En la década del 2020 las pérdidas económicas por efectos del cambio climático en la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey serán de más de 1 mil millones de dólares (López, 2022). Por tanto, la inversión del país para su mitigación será considerablemente menor que los costos de la inacción (SEDESOL, 2012; DOF 2014)

## **Capítulo 2. Vulnerabilidad y vulnerabilidad al cambio climático**

### **2.1 Vulnerabilidad**

La vulnerabilidad es considerada como un fenómeno debido a que es específica de un tiempo y espacio geográfico determinado (Sánchez, 2013). Se construye y manifiesta a partir de una amenaza real, por lo tanto, las personas serán vulnerables en diversos grados y a diversas amenazas (Soares y Gutiérrez, 2011). Por consiguiente, es un estado de riesgo al que se encuentran expuestas ciertas personas en un momento y espacio determinado y depende de la capacidad de respuesta individual o colectiva ante una situación determinada (Lara, 2013). De tal modo que la vulnerabilidad no es un símil de pobreza, carencias o necesidades sino de indefensión, inseguridad y exposición a ciertos riesgos (Ramos, 2019). Y es, además, un factor determinante de las afectaciones a individuos y grupos y es una precondition del desastre (Gran, 2020).

De manera general, existen dos posturas principales en la conceptualización de la vulnerabilidad. La vulnerabilidad ontológica o antropológica y la vulnerabilidad social o situacional. La primera sugiere que ésta es una condición inherente al ser humano, debido a su susceptibilidad a ser dañado, por lo tanto, es universal, estática, inherente, esencial, constante y permanente de la humanidad (Liedo, 2021; Ramos y Robles, 2022).

Por otro lado, la vulnerabilidad social o situacional, denota la existencia de condiciones que generan desigualdades en los grados de vulnerabilidad que pueden enfrentar las personas. Se encuentra basada en motivos circunstanciales. por lo que es considerada como un concepto relacional, en el que se debe tomar en cuenta la interacción entre la persona y el entorno, siendo las circunstancias las que generan una mayor vulnerabilidad. Como resultado depende de un contexto en el que las desigualdades estructurales generan personas más propensas a sufrir daños. Este tipo de vulnerabilidad es multidimensional, compleja, descriptiva, dinámica, extrínseca, integral, contextual y subjetiva, a su vez que afecta múltiples

aspectos de la vida de los perjudicados y que sus efectos negativos suelen acumularse e intensificarse entre ellos. Su análisis permite identificar escenarios con condiciones específicas de vulnerabilidad y suele tener cierta cualidad predictiva (Liedo, 2021; Ramos y Robles, 2022; Ramos, 2019; Lara, 2013; Valdés, 2021).

Otros autores refieren que las condiciones de vulnerabilidad representan la capacidad de respuesta de individuos, hogares o comunidades que resultan entre la interacción de un “entorno” y un “interno” a consecuencia de la exposición de ambos a una amenaza. El “entorno” ofrece oportunidades de bienestar vinculadas a un territorio y periodo de tiempo, mientras que lo “interno” es la cantidad, calidad y diversidad de recursos activos o capitales disponibles para hacer frente a la amenaza, lo que se refiere a la “capacidad de respuesta” tanto de individuos, hogares o comunidades (Soares y Gutiérrez, 2011). En este sentido, las condiciones socioeconómicas previas a la exposición de dichas amenazas definen a la vulnerabilidad y hacen referencia a una “capacidad diferenciada” para hacerles frente (Barrenechea y otros, 2000).

Por tanto, la vulnerabilidad alude al potencial de que un sistema se vea dañado por tensiones externas en función del carácter, magnitud y variación de la amenaza a la que está expuesto el sistema y se representa por tres elementos; la exposición, sensibilidad a los impactos y la capacidad o incapacidad de adaptarse a ellos (Calderón y otros, 2021; PNUMA, 2010; IPCCb, 2014). Los componentes de exposición y sensibilidad representan los impactos a los que se encuentra expuesto el sistema, mientras que la capacidad adaptativa es la medida en la que se pueden reducir los daños y pérdidas del sistema (Calderón y otros, 2021).

En este sentido, de acuerdo con la CEPAL (Sánchez, 2013), existen tres enfoques dominantes de pensamiento sobre la vulnerabilidad las cuales son:

- Enfoque *riesgo-peligro*: se orienta a la relación dosis-respuesta entre un riesgo exógeno al sistema y sus efectos adversos.

- Enfoque *constructivista social*: se relaciona a las capacidades sociales (socioeconómicas y políticas) de una comunidad para enfrentar presiones externas.
- Enfoque de *mediciones integrales*: donde la vulnerabilidad es una medida integrada por dimensiones de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa.

El IPCC retoma el enfoque de mediciones integrales (IPCCb, 2014). Donde, los componentes de exposición y sensibilidad representan los impactos a los que se encuentra expuesto el sistema, mientras que la capacidad adaptativa es la medida en la que se pueden reducir los daños y pérdidas del sistema (Calderón y otros, 2021: 8). La exposición supone una precondition física que favorece la aparición de daños (Welz J y Krellenberg K., 2016: 253) y se conforma por la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios, infraestructura, recursos y elementos que podrían verse afectados ante una amenaza (IPCCb, 2014), la sensibilidad es el grado en que un sistema es potencialmente modificado o afectado por un disturbio interno, externo, o un grupo de ellos (Monterroso y otros, 2014; CAF, 2014) y se refiere a la precondition de sufrir daños (Welz J y Krellenberg K., 2016) y, la capacidad de los sistemas a ajustarse es denominado adaptación y a la capacidad potencial de ejercer respuestas o acciones de ajuste se le llama capacidad adaptativa (Conde, 2010), ésta depende de recursos cruciales como la educación, empleo, programas de manejo de riesgo de desastres y redes sociales entre otros (Welz J y Krellenberg K., 2016). Las adaptaciones pueden ser ya sea espontáneas o planificadas y pueden ejercerse antes o después de la exposición a la amenaza. Así mismo la capacidad adaptativa se encuentra relacionada con factores sociales y económicos (Conde, 2010), y trata de regular, moderar o evitar los daños en los sistemas naturales a partir del aprovechamiento de las oportunidades (IPCC, 2014c).

Como se puede observar, la vulnerabilidad es una condición humana provocada por la exposición a peligros, lo que se relaciona a la situación social y socioeconómica

de los afectados Welz J y Krellenberg K.). Existe un consenso generalizado acerca de que las personas con ciertas características sociales como la pobreza, se encuentran particularmente expuestas debido a que ésta es un factor clave relacionado con la marginalidad, situación laboral precaria, residencia en zonas de riesgo, falta de acceso a la información, servicios, recursos financieros y apoyo social, así como aquellos con baja capacidad de recuperación, supervivencia y resistencia frente a las amenazas (Welz y Krellenberg, 2016). Esto se debe a que el acceso limitado a recursos de subsistencia dificulta su adaptación y la reducción de su vulnerabilidad (Jensen y Birche, 2017).

Por otro lado, las comunidades con mayor capacidad de resiliencia, así como mayor poder adquisitivo tienen una recuperación más rápida en comparación a las comunidades vulnerables ante eventos climáticos, inclusive si éstas últimas se enfrentan a eventos climáticos menores. Esto puede explicarse a partir de los factores que revelan las diferencias socioespaciales, de tal manera que a partir de políticas públicas es posible reducir la vulnerabilidad de los hogares pobres en las zonas expuestas (Banco Mundial. 2015). Por lo tanto, debido a que la reducción de la vulnerabilidad es la base de la adaptación, es importante el estudio de quien y porqué son vulnerables (Jensen y Birche, 2017).

El estudio de la vulnerabilidad permite entender la heterogeneidad dinámica de las desigualdades sociales, por lo que es importante la construcción de indicadores que transversalicen el contexto social y permitan monitorear y atender a grupos vulnerables específicos (Ramos, 2019). Al ser la vulnerabilidad un concepto tanto analítico como operativo, es necesario realizar actualizaciones periódicas de los estudios debido a las fluctuaciones en las condiciones de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa a lo largo del tiempo. Su estudio debe ser interdisciplinario y transdisciplinario ya que requiere la colaboración de las ciencias sociales y naturales. Al mismo tiempo, es un elemento central en los trabajos sobre riesgo de desastres y adaptación al cambio climático y un insumo importante para el diseño de estrategias y acciones de adaptación (Sánchez, 2013). De esta forma, su estudio

permite entender la heterogeneidad dinámica de las desigualdades sociales, por lo que es importante la construcción de indicadores que transversalicen el contexto social y permitan monitorear y atender a grupos vulnerables específicos (Ramos, 2019).

## **2.2 Vulnerabilidad al cambio climático**

La vulnerabilidad no se encuentra asociada únicamente a las condiciones de los individuos, también se ve influenciada por las condiciones del entorno en el cual se encuentra insertada su vida cotidiana (Welz y Krellenberg, 2016: 252-253). Por tanto, al momento de calcular la vulnerabilidad de un individuo o un grupo de ellos, es necesario tomar en cuenta fenómenos como el cambio climático debido a que éste genera que las poblaciones humanas sean cada vez más vulnerables a la presión ambiental (Borrás, 2006). Los impactos y la vulnerabilidad al cambio climático dependen de diversas variables, su magnitud y severidad dependen de factores climáticos, topográficos, geográficos, socioeconómicos y políticos entre otros (CAF, 2014; Moreno y Delgado, 2022).

Se pueden distinguir dos nociones principales que son: la vulnerabilidad como resultado (*outcome vulnerability*) que considera los efectos del cambio climático, y se centra en el sistema natural, además de considerarla como un punto final. La vulnerabilidad contextual (*contextual vulnerability*) la relaciona con las condiciones humanas donde la vulnerabilidad es el resultado de las estructuras y procesos ambientales, sociales, culturales, institucionales y económicos (Welz y Krellenberg, 2016).

Los procesos que dan origen a la vulnerabilidad al cambio climático se encuentran directamente relacionados a las características de las comunidades afectadas, así como a sus problemas y posibilidades de desarrollo (Sánchez, 2013). Al mismo tiempo está dada no sólo por el aumento de la frecuencia de eventos climáticos, sino también por la creciente exposición de los sistemas (poblacional, agrícola, pesca, turismo) a sus efectos (PNUMA/Paralantino, 2015). Éste tipo de vulnerabilidad

se construye a partir de diversos factores como son: la exposición física, humana y económica a los riesgos climáticos, las presiones sobre los recursos naturales sensibles al clima, la dependencia económica y social a actividades sensibles al clima, la disponibilidad de recursos económicos que contribuyen a incrementar la capacidad adaptativa, la salud de la población, el acceso a servicios de salud, el acceso a información y conocimientos generales y, la fortaleza institucional (CAF, 2013).

Por tanto, la vulnerabilidad al cambio climático indica la susceptibilidad de un sistema para afrontar un riesgo o peligro derivado de los efectos negativos del cambio climático, incluyendo la variabilidad y extremos climáticos, y se encuentra en función del carácter, magnitud, ritmo, frecuencia y velocidad de la variación climática, así como los efectos adversos a los que se encuentra expuesto el sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación (CAF, 2014; SEMARNAT, 2013; DOF, 2012; SEDESOL, 2012; Monterroso y otros, 2014; Aguilar, 2007; CAF, 2014; Herrero, Natenzon y Miño, 2018; Musseta y otros., 2017; Viguera y otros., 2017; Jensen y Birche, 2017; Córdoba, 2020). Entonces, se puede decir que el cambio climático impacta sobre las vulnerabilidades previas derivadas del acceso a los recursos (Musseta y otros, 2017).

Por ende, se puede expresar la vulnerabilidad al cambio climático de la siguiente manera:

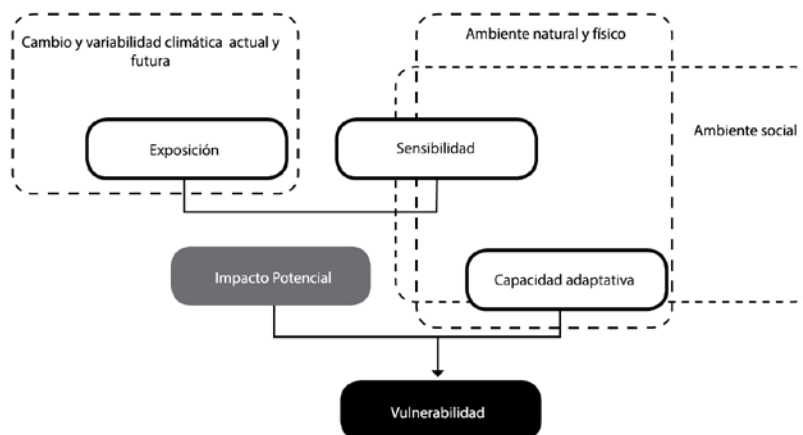
$$\text{Vulnerabilidad} = (\text{Exposición} + \text{Sensibilidad}) - \text{Capacidad adaptativa}$$

(CAF, 2014; Calderón, Francisco y López, 2021).

Donde, la exposición es el grado de estrés climático al que se encuentra sometido el territorio por cambios en las condiciones climáticas y supone una precondition física a ser afectado por impactos ambientales y naturales, también se puede referir a los eventos físicos y meteorológicos derivados de la variabilidad climática en el que un factor clave de la exposición a dichos riesgos es la ubicación geográfica.

Para que exista una condición de exposición es necesaria la presencia de personas, medios de subsistencia, ecosistemas, recursos ambientales o económicos y social en entornos que podrían ser afectados de manera negativa. La sensibilidad es el grado en que un sistema o especie es potencialmente modificado o afectado por un disturbio interno, externo, o un grupo de ellos. Evidencia las condiciones sociales, económicas, culturales, políticas y ambientales más amplias y depende de los recursos a los que los involucrados puedan acceder. Ésta alude a la forma en la que una situación afecta a una comunidad o individuo derivado de sus características propias. En ese sentido, la capacidad adaptativa es la habilidad de un sistema para afrontar los efectos negativos del cambio climático, lograr que los daños sean moderados, aumentar su rango de tolerancia, y aprovechar las oportunidades a corto plazo. Depende de recursos cruciales como la educación, empleo, programas de manejo de riesgo de desastres y redes sociales entre otros. Estas características dan flexibilidad al sistema y permiten generar estrategias de gestión de riesgos evitando el aumento de su vulnerabilidad y reduciendo o eliminando el daño para obtener oportunidades de mejora (Monterroso y otros, 2014; CAF, 2014; Welz J y Krellenberg K., 2016; PNUMA, 2010; Musseta y otros, 2017; Moreno, 2023; Viguera y otros., 2017; Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, 2018; Córdoba, 2020).

**Figura 22. Composición de la vulnerabilidad al cambio climático**



Fuente: Retomado de Viguera y otros., 2017: 23.

La figura 22 representa la composición de la vulnerabilidad al cambio climático, en la cual destacan la participación del ambiente natural, físico, social para los ámbitos de sensibilidad y capacidad adaptativa, mientras que la variabilidad climática actual y futura impacta directamente en la exposición.

De acuerdo con Lampis (2013) existen tres enfoques para la comprensión de la vulnerabilidad al cambio climático éstos son:

- Riesgo-Amenaza<sup>11</sup> (RA): se basa en la estimación de la probabilidad del riesgo y la cuantificación de sus impactos.
- Construcción social del riesgo (CSR): factores que relacionan las condiciones particulares de los individuos o grupos humanos con los eventos de estrés y los factores que potencian la capacidad de adaptación de los mismos.
- Enfoque integrado (EI): integra ambos enfoques anteriores. (Lampis, 2013: 19-20).

El enfoque integrado, toma en cuenta; las características de vulnerabilidad social (interna) a partir de variables como nivel socioeconómico, densidad de población, organización social funcional y accesibilidad a servicios entre otros; la exposición a los factores de riesgo biofísico (externo) con base a variables de experiencia previa con desastres, tipología del territorio etc., así como la influencia de las acciones de mitigación en los procesos territoriales, dando como resultado la vulnerabilidad existente del territorio (Lampis, 2013). Este enfoque fue el retomado por el IPCC para la definición de la vulnerabilidad al cambio climático (IPCC b, 2014).

Por otro lado, de acuerdo con el documento de PNUMA (2010), las evaluaciones de vulnerabilidad ante los impactos del cambio climático y adaptación se han derivado

---

<sup>11</sup> Las amenazas se refieren a eventos de origen físico como sequías, inundaciones y enfermedades o amenazas antropogénicas como contaminación, accidentes, hambrunas o pérdidas del empleo (Ruiz, 2011: 64).

de tres líneas de investigación: evaluaciones de impacto, investigación de riesgos/peligros (los cuáles se enfocan en los múltiples efectos de un sólo estrés) y, la evaluación de las múltiples causas de un solo efecto. Actualmente el reto consiste en la integración transversal de las tres líneas. Para lo cual es necesario identificar las *fuerzas motrices* de la vulnerabilidad como actividades industriales, actividades agropecuarias, ubicaciones de rellenos sanitarios y patrones de consumo entre otros, las *presiones* como la urbanización y cambios en la producción agrícola y el *estado*, es decir los efectos y tendencias del cambio climático (PNUMA, 2010).

La vulnerabilidad al cambio climático debe tratarse de manera dinámica debido a que es una realidad que adopta diferentes formas y niveles (Welz y Krellenberg, 2016). Sus efectos no se reparten de manera homogénea, esto se debe a diversos factores tanto naturales como socioeconómicos (Verdaguer, 2013). En este sentido, un país será más vulnerable en cuanto menor sea su capacidad de adaptarse institucional, social, económica y ambientalmente (CAF, 2013). Por tanto, la perspectiva de análisis del cambio climático basada en la vulnerabilidad fija su atención hacia los grupos o entidades expuestas a cambios ambientales considera las diferentes presiones, y propone tanto determinar el riesgo de efectos desfavorables como identificar los factores que pueden reducir la capacidad de respuesta y adaptación a los cambios (CEPAL, 2001). Tanto la sensibilidad como la capacidad de adaptación dependen del contexto de los grupos sociales, es decir, de factores como la riqueza, grado de escolaridad, información, condiciones de las viviendas, distancia a los servicios, acceso a servicios básicos y de salud, disponibilidad de tecnología e infraestructura entre otros (PNUMA, 2010; CEPAL, 2001; Moreno, 2023). Además, para alcanzar una adaptación eficiente es necesario primero identificar los posibles impactos del cambio climático para poder prepararse con los mejores mecanismos posibles (Calderón, Francisco y López, 2021)

Factores como el crecimiento poblacional, la urbanización no planificada, falta de infraestructura planificada y de calidad, desigualdad social, pobreza, economías dependientes de sectores vulnerables al cambio climático, y prácticas ambientales

inadecuadas son factores socioeconómicos que fomentan la vulnerabilidad al cambio climático (Viguera y *otros.*, 2017). Por ello, el nivel general de desarrollo social será indicador de la sensibilidad, al igual que los recursos que ayudan a la coacción de la respuesta de amenazas y exposiciones indicarán la capacidad de adaptación (PNUMA, 2010), esto implica que los países con menores recursos cuenten con menor capacidad de adaptación y consecuentemente son más vulnerables (CEPAL, 2001).

De acuerdo con Moreno (2010) los factores que pueden definir las regiones más vulnerables ante el cambio climático son; clima tropical, poca seguridad del agua y alimentos, nivel socioeconómico bajo y la inestabilidad política, escenarios encontrados en diversos países latinoamericanos. Son más sensibles a los efectos del cambio climático las poblaciones en condición de pobreza debido a que suelen asentarse en zonas de riesgo y a que los desastres profundizan las condiciones de pobreza, además, esta tiene una relación directa con el grado de educación que alcanza la población, así como la situación sanitaria, ambos indicadores importantes del desarrollo. Este grupo poblacional será el que sufrirá un mayor impacto y en un tiempo más inmediato (SEDESOL, 2012: 17; Graizbord, González y González, 2010; 20). A su vez, la población rural dependiente del sector agrario, los habitantes de zonas urbanas expuestos a riesgos climáticos o a problemas de abastecimiento de agua y poblaciones en zonas costeras son sumamente sensibles al cambio climático (CAF, 2013, 19). Otro aspecto por considerar es que los individuos y comunidades que se relacionan a más de una categoría de vulnerabilidad tienen mayores obstáculos para incrementar su capacidad adaptativa y por lo tanto aumenta su sensibilidad a los diferentes impactos del cambio climático tanto presentes como futuros. Por lo tanto, los grupos marginados soportan mayores cargas del cambio climático, lo que les dificulta salir de su situación de pobreza y genera que sigan siendo vulnerables a futuros cambios (ONU-HABITAT, 2011: 36).

Pueden considerarse como determinantes de la capacidad adaptativa el desarrollo, la igualdad socioeconómica y de género y la gobernabilidad (ONU-HABITAT, 2011:

17). En este sentido el crecimiento económico es un factor necesario para reducir la pobreza y base para generar mayor capacidad de resistencia a las consecuencias del cambio climático en los países pobres, sin embargo, por lo regular este no es lo suficientemente rápido ni equitativo para generar protección a los más pobres ni a los más vulnerables (Banco Mundial, 2009: 7). Es importante considerar la adaptación como un proceso flexible, el cual permite realizar ajustes periódicos de acuerdo con los efectos del cambio climático, así como las condiciones físicas, sociodemográficas, económicas y ambientales (Sánchez, 2013: 15). Para Córdoba (2020: 90), existen ocho criterios identificables que inciden en la capacidad adaptativa de las comunidades frente a desastres climáticos, estos son: el capital humano y social, la tecnología disponible, recursos naturales, la estructura de las instituciones locales, la percepción y conocimiento de la comunidad sobre el origen del problema y su severidad, procesos utilizados por tomadores de decisiones locales y la habilidad de la comunidad para distribuir el riesgo. En este sentido, a mayor cantidad de recursos y opciones para mejorar sus condiciones de vida, mayor capacidad adaptativa tendrán los hogares.

Por otro lado, en el Cuarto Informe del IPCC (2007; 48), se refiere que las industrias, asentamientos y sociedades más vulnerables son aquellas que se localizan en llanuras costeras y planicies propensas a las crecidas fluviales, así como aquellas que se encuentran ligadas a recursos sensibles al clima y ubicaciones propensas al impacto de fenómenos meteorológicos extremos, principalmente si presentan procesos de urbanización rápidos. Entre los factores no climáticos que llegan a afectar la vulnerabilidad de los asentamientos humanos, se encuentran el crecimiento demográfico, la urbanización, los niveles de pobreza, sistemas de energía y transporte, consumo de combustibles y la capacidad de los gobiernos locales (Aguilar, 2007: p.3-4).

Para el estudio de vulnerabilidad al cambio climático, los indicadores (medida de una característica) físicos, sociales y económicos y los índices (conjunto de indicadores sintetizados) son herramientas que permiten la comparación de

características que reflejan las situaciones socioeconómicas y ambientales de un país o región, y por lo tanto permiten generar cuantificaciones sobre la vulnerabilidad y su comportamiento. Éstos posibilitan realizar amplias comparaciones para la toma de decisiones, y la agregación de indicadores para la construcción de un índice es el método más utilizado para el estudio de la vulnerabilidad climática, sin embargo, no existen en la actualidad guías para evaluar la vulnerabilidad a partir de indicadores universales, (PNUMA, 2010: 16; INECC, 2013: 13; Musseta y otros, 2017: 126-127; Calderón y otros, 2021:8).

El método más utilizado para los estudios de vulnerabilidad al cambio climático son los métodos de agregación de indicadores para la construcción de un índice (Calderón y otros., 2021: 8). Por lo tanto, es importante el análisis de estudios previos, así como las metodologías, índices e indicadores que éstas utilizaron, a continuación, en el cuadro 3 se observa una sinterización de indicadores utilizados para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático utilizados en diversos estudios.

**Cuadro 3. Indicadores para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático**

Dimensión	Indicadores
Estado, tendencias y exposición	Frecuencia de eventos naturales (Inundaciones, sequías y ciclones) Ubicación e intensidad de fuegos sin control. Número de días consecutivos con precipitación/ temperaturas superiores a ciertos niveles. Número de días de helada. Contaminación Manejo de residuos sólidos Indicadores biofísicos y naturales relativos al clima, suelo y cultivos de entre 40 y 100 años. Vulnerabilidad costera Tierra Seca Degradada Días secos consecutivos Días consecutivos de lluvia
Impactos y sensibilidad	Población afectada por desastres naturales por evento, por año/ por periodo. Infraestructura dañada por área, año/periodo. Cambios en uso del suelo. Activos, valor del suelo, tipos de vivienda. Tamaño y tipos de viviendas (hogares con jefas de familia). Papel de sectores sensibles (empleo e ingresos de sectores como agricultura, pesca y turismo). Suficiencia alimentaria. Tipos de cultivos principales (producción y pérdidas). Zonas de agricultura de secano, índice de irrigación, fuente de irrigación. Porcentaje de viviendas por debajo de la pobreza.

	<p>Nivel educativo o alfabetismo.          Enfermedades y atención médica efectiva (número de personas que padecen enfermedades, acceso a la atención médica: hospitales, clínicas móviles por zona).          Analfabetismo          Población menor de 6 años          Población de 0 a 14 años          Población mayor de 60 años          Jefe femenino en el hogar          Jefe adulto mayor en el hogar          Precariedad de la vivienda          Acceso a servicios de salud          Estado de salud          Acceso a agua potable          Uso propio de recursos extraídos          Distancia a servicios          Tenencia de la tierra          Cantidad de hogares y fincas ubicadas en áreas de inundaciones o deslizamientos          Hacinamiento crítico          Desocupados          Hogares con un solo jefe de familia          Inseguridad alimentaria y desnutrición          Tipo de tejido urbano          Áreas deforestadas</p>
Capacidad Adaptativa	<p>Miembros del hogar económicamente activos          Grado de escolaridad          Capacitaciones sobre cambio climático          Dirigentes con conocimientos en cambio climático          Organización dentro de la comunidad          Acceso a medios de comunicación          Uso de tecnología          Empleo en actividades no vulnerables al cambio climático          Apoyo de programas sociales          Diversificación de ingreso          Cobertura de salud          Nivel educativo          Equidad de género          Nivel de autonomía alimentaria          Salario mínimo relacionado a costo de canasta familiar          Distancia óptima a un centro de salud (<math>\leq 2.5</math> km)          Leyes y políticas públicas enfocadas al cambio climático</p>
Ejemplos de índices funcionales	<p>de Índice de desarrollo humano          Índice de vulnerabilidad social          Índice de vulnerabilidad ambiental          Índice de riesgo costero          Índice de capacitación          Índice de acceso          Índice de manejo de medios.</p>

Fuente: Elaboración propia con base a PNUMA, 2010: 26-27; Moreno, 2023: 10; Musseta y otros, 2017: 130; Morales y otros., 2018: 102; Herrero, Natenzon y Miño, 2018: 14; Viguera y otros., 2017: 31-32; Calderón, y otros., 2021: 9; Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, 2018: 16.

El cuadro anterior enlista algunos índices e indicadores útiles por dimensión de monitoreo que fueron retomados de diversos estudios y trabajos.

De igual forma, las evaluaciones del impacto del cambio climático de manera tradicional se basan en las proyecciones de escenarios futuros y alteraciones de temperatura, precipitación, subida en el nivel del mar entre otros para los cuales es necesario:

- 1) Identificar escenarios de emisiones mundiales (GEI) con base al Informe especial de escenarios de emisiones.
- 2) A partir de los niveles estimados de GEI realizar simulacros mediante modelos de circulación general (MCG), los cuales calculan la interrelación de los elementos en el sistema de la Tierra y las futuras tendencias climáticas. Para proyecciones del clima a mayor detalle y precisión geográfica se encuentran los modelos climáticos regionales (MCR) (PNUMA, 2010: 28, 30).

La vulnerabilidad al cambio climático es un problema multidimensional que amerita la comprensión del contexto social, económico, político y ambiental de los territorios con la finalidad de disminuir la sensibilidad de la población afectada y aumentar su capacidad adaptativa (CAF, 2014: 5). Por lo tanto, el estudio de la vulnerabilidad al cambio climático es una herramienta útil y necesaria para la planificación del desarrollo urbano, el desarrollo sostenible, la reducción del riesgo de desastres, así como la adaptación al cambio climático (Sánchez, 2013: 80).

Es importante detectar las poblaciones más vulnerables ante los efectos negativos del cambio climático y los respectivos riesgos que conlleva, de manera tal que la atención se focalice en los lugares que se verán más afectados, de modo tal que el número de sistemas y personas afectadas se disminuya. Los retos de cada territorio varían dependiendo de las características particulares de los mismos como se aprecia en la figura 23.

Figura 23. Análisis de la vulnerabilidad al cambio climático



Fuente: Retomado de Calderón y otros, 2021: 8.

Finalmente, otros conceptos asociados al cambio climático son la mitigación y la adaptación. La mitigación se refiere a cualquier intervención humana orientada a disminuir el impacto del cambio climático mediante el uso de políticas y acciones para la reducción de las emisiones de GEI y el mejoramiento de sumideros de gases y compuestos de efecto invernadero, así como la aplicación de otras medidas como evitar la deforestación y degradación de la tierra por cambios de uso del suelo y la búsqueda del aumento de bosques (SEDESOL, 2012,15-16; Viguera y otros., 2017: 28).

Mientras que la adaptación es la capacidad de los sistemas naturales o sociales de adecuarse a los estímulos climáticos y sus efectos actuales o esperados de manera tal que los daños se mitiguen y se aprovechen las oportunidades (SEDESOL, 2012,15-16; Viguera y otros., 2017: 28). La capacidad de adaptarse al cambio climático se encuentra relacionada con la edad, el género y otros factores como el capital humano, económico, físico, natural y social. Los grupos con mayor poder adquisitivo muestran mayor capacidad adaptativa, mientras que los grupos minoritarios, las mujeres, ancianos, niños y pobres urbanos son especialmente vulnerables (ONU-HABITAT, 2011: 17).

Algunas medidas de adaptación por sector serían;

- Para los impactos en los ecosistemas; establecer áreas protegidas y corredores biológicos, reducción de la degradación.
- Agricultura; introducción de variedades resistentes a las condiciones ambientales, ampliación de los sistemas de irrigación, control de plagas y enfermedades, manejo integral de suelos, prácticas agroforestales.
- Agua: Cumplimiento de regulaciones de las zonas de riesgo, evaluación de seguridad de estructuras para gestión del agua, manejo integral de los recursos hídricos, protección de agua, mejoramiento de los sistemas de abastecimiento de agua.
- Costas; Manejo integral de zonas costeras, planes de monitoreo y protección, restricciones de acceso a las zonas de pesca, prevención de la contaminación, mantenimiento y mejoramiento de la biodiversidad de las costas.
- Salud: fortalecimiento de los servicios de salud, sistemas de vigilancia para enfermedades sensibles al clima, fomento de la investigación, establecimiento de canales de comunicación regulares con organizaciones de la salud. (Córdoba, 2020: 93-94).

La adaptación al cambio climático es un tema cada vez más importante en la agenda del desarrollo debido a que la vulnerabilidad de un país generará impactos importantes en sus posibilidades de desarrollarse sosteniblemente (CAF, 2013: 19). Por lo tanto, es importante realizar análisis periódicos que reflejen los escenarios reales de la vulnerabilidad al cambio climático. Cada localización necesita análisis específicos de sus condiciones de riesgos, impactos y vulnerabilidad de tal forma que puedan diseñarse estrategias y medidas de adaptación específicas (Verdaguer, 2013: 16). Para el diseño e implementación de políticas para la adaptación a dicho fenómeno, es imperante estudiar los impactos presentes y futuros tanto ambientales como sociales, éstas ayudarán a sobrellevar los efectos del cambio climático y en

algunos casos se pueden combinar con medidas de mitigación (Moreno, 2023: 6). Para que dichas medidas y herramientas de decisión política sean efectivas y pertinentes se deben conocer las causas profundas que denotan los procesos de la vulnerabilidad ante el cambio climático (Musseta y otros, 2017: 143). Al mismo tiempo que se toma en cuenta que las personas vulnerables al cambio climático en la actualidad serán aún más vulnerables en el futuro (Córdoba, 2020: 91).

### **2.3 Vulnerabilidad urbana al cambio climático**

A pesar de que no existe una definición aceptada a nivel internacional de lo que es una zona urbana o ciudad (ONU-HABITAT, 2011: 28), se sabe que es la forma más radical de transformación del paisaje natural debido a que constituye un espacio eminentemente antropizado (Fernández, 2009: 174). Las ciudades se han consolidado como centros de riqueza y consumo y, son consideradas como un motor de desarrollo y prosperidad económica y social, sin embargo, también son cede de una serie de problemas como la concentración demográfica, contaminación, pobreza, exclusión, marginación, delincuencia e inseguridad ciudadana entre otros (ONU-HABITAT, 2011: 27; Gifreu, 2018: 106).

La población, actividades económicas, interacciones sociales y culturales, a la par de las repercusiones ambientales y humanitarias se concentran cada vez más en estos espacios, generando problemas de sostenibilidad en materia de vivienda, infraestructura, servicios básicos, seguridad alimentaria, salud, educación, empleo, seguridad y recursos naturales entre otros (Rodríguez, 2018c: 22). En este sentido, tanto la forma urbana como la densidad, se encuentran relacionadas con las consecuencias sociales y medioambientales urbanas (ONU-HABITAT, 2011: 29).

Actualmente, las ciudades representan menos del 2% de la superficie terrestre, generan más del 80% del PIB mundial, consumen alrededor del 78% de la energía y producen el 60% de las emisiones de dióxido de carbono (Gifreu, 2018: 106; Margulis, 2016: 5). Siendo las principales fuentes de emisión las relacionadas con el consumo de combustibles fósiles como el suministro de energía para la

producción eléctrica, transporte, uso de electricidad, producción industrial y residuos (ONU-HABITAT, 2011: 9). En este sentido, las ciudades generan la modificación del clima regional y contribuyen en gran forma al calentamiento global, a la par de constituirse como áreas vulnerables al cambio climático (Fernández, 2009: 173). Esto se explica debido a que los procesos de urbanización generan cambios ambientales que a su vez modifican de manera artificial el clima (Novillo, 2018: 128).

La población mundial es en la actualidad mayoritariamente urbana, con un 56% del total de su población viviendo en ciudades, lo que corresponde a 4 400 millones de personas, y se espera que para el año 2050 ésta cifra aumente a un 70% (Banco Mundial, 2023b). El ritmo de urbanización actual no tiene precedentes y es una de las tendencias más transformadoras en el siglo XXI (Fernández, 2009: 174; Rodríguez, 2018c: 21). Además, los procesos de urbanización masiva generan espacios altamente vulnerables al cambio climático y sus efectos, siendo que los ecosistemas antropizados tienen una menor resistencia a sus impactos que los ecosistemas naturales (Gifreu, 2018: 128).

Por lo general, en países de medios y bajos ingresos la urbanización se encuentra ligada a un incremento significativo de comunidades potencialmente vulnerables asentadas en zonas marginadas o irregulares con mayor exposición a los impactos del cambio climático (Gran, 2020: 136). Tal es el caso de la región de América Latina y el Caribe, la cual, en el siglo XX presentó un periodo de rápida urbanización en el cual las ciudades ostentaron una baja densidad poblacional y una falta de planificación y ordenamiento territorial (Rodríguez, 2018c; 21).

Además, las ciudades suelen configurarse de tal manera que promueven la distribución socio espacial desigual y no generan condiciones óptimas para la adaptación (Gran, 2020: 137). En Latinoamérica y el Caribe las desigualdades se presentan primero en una concentración geográfica de la población y la actividad económica en un número reducido de espacios que suelen ser las áreas metropolitanas principales, rezagando económicamente el resto de las ciudades y

zonas rurales, y segundo una gran brecha en las condiciones generales de vida de la población entre territorios (Rodríguez, 2018c: 26).

Por lo tanto, los procesos de urbanización influyen en el estado de vulnerabilidad socioespacial, motivo por el cual es importante el estudio de su distribución (Gran, 2020: 137, 144). El cambio climático y su espacialidad pone en riesgo diferentes sectores y la funcionalidad de las dinámicas locales, además de que genera una presión adicional a la vulnerabilidad social precedente de las ciudades, principalmente en América Latina (Enríquez, 2022: 19). Esto debido en su mayoría a que la región presenta un modelo de expansión urbano desorganizado, lo que fomenta el crecimiento urbano en zonas poco apropiadas y expuestas a mayores riesgos ambientales y carentes de servicios e infraestructura básica (Gran, 2020: 137).

A su vez, siendo la vida urbana una de las principales causas de las emisiones de GEI, se puede considerar que existe una estrecha relación entre el cambio climático y las ciudades, tanto en la huella de carbono que producen como en los impactos generados por los efectos climáticos extremos (Enríquez, 2022: 20; SEDESOL, 2012: 30). Por consiguiente, es necesario entender los impactos este fenómeno sobre el medio urbano, debido a los desafíos únicos para las ciudades y su creciente población (Verdaguer, 2013: 54).

En este sentido, los impactos del cambio climático en los asentamientos humanos se encuentran relacionados no sólo a la localización específica de la localidad, latitud, relieve, distancia a masas de agua, topografía, superficie de las cubiertas de suelo y vegetación entre otras características (Arellano y Roca, 2015: 4), sino también a su clasificación de acuerdo con el tamaño, región y actividades económicas que los caracterizan. Debido a las altas concentraciones demográficas, industrias e infraestructuras, es probable que las áreas urbanas sufran los mayores efectos del cambio climático (ONU-HABITAT, 2011:13). En su mayoría, los impactos de este fenómeno en un asentamiento humano dependerán más de la

vulnerabilidad de los sistemas sociales que en la magnitud física de los cambios ambientales. Por ello, es necesario considerar las condiciones políticas, sociales, ambientales y económicas de una sociedad (Aguilar, 2007: 4, INECC, 2013: 6).

En este sentido, la vulnerabilidad se encuentra relacionada al proceso de urbanización, principalmente a la magnitud, proporción y tasas de incremento de la población urbana y segundo al tamaño y crecimiento de ciertas ciudades individuales. Debido a que la urbanización y el crecimiento poblacional pueden actuar como un factor multiplicador de la amenaza y agravar los efectos negativos del cambio climático principalmente si se relaciona a la falta de reglamentación y sistemas de alerta temprana, así como el desarrollo en zonas peligrosas o con materiales y técnicas de construcción inadecuadas (ONU-HABITAT, 2011: 37).

Por lo tanto, las ciudades son un espacio particularmente vulnerable al cambio climático, especialmente en contextos de rápido crecimiento urbano debido a que este suele acompañarse de un aumento de comunidades potencialmente vulnerables en asentamientos marginados o irregulares y mayoritariamente expuestos a riesgos climáticos (Gran, 2020: 136), lo que las vulnera particularmente a la pérdida de viviendas e infraestructura urbana debido a los desastres, problemas de salud y aumento de enfermedades (SEDESOL, 2012: 17). Esto se debe a que los factores de riesgo como el estrés térmico, la precipitación extrema, inundaciones continentales y costeras, contaminación del aire, sequías y escasez del agua plantean dificultades para las zonas urbanas, las cuales se ven incrementadas en medida que las personas carecen de infraestructura, servicios esenciales o residen en zonas expuestas (IPCC, 2014b: 18).

A pesar de que los riesgos del cambio climático se presentan a escala local, las vulnerabilidades y la capacidad de adaptación varía en todas las ciudades (ONU-HABITAT, 2011: 9). Por lo tanto, es de suma importancia generar estudios que midan y evalúen el grado de vulnerabilidad al cambio climático en este tipo de lugares. A la vez que se debe enfocar la acción climática en las ciudades debido a

tres factores principales: su responsabilidad en el cambio climático, la concentración de personas, activos y actividades económicas y, los beneficios económicos de la aplicación de acciones de mitigación y adaptación (Margulis, 2016: 5).

En la actualidad, diversas ciudades han presentado impactos significativos derivados del cambio climático, sin embargo, muchas de estas no cuentan con escenarios de este fenómeno, evaluaciones de amenazas y vulnerabilidad, así como acceso a recursos o herramientas para la reducción del riesgo de desastres (Vega y Rincón, 2023: 11). Los peligros y riesgos climáticos de las ciudades dependen de múltiples factores, las afectaciones varían de una región a otra en función de la región bioclimática y de su emplazamiento. De acuerdo con su ubicación geográfica, las urbes pueden ser afectadas debido a los cambios en las temperaturas y precipitaciones, el aumento del nivel del mar o modificaciones en la gravedad o frecuencia de fenómenos extremos. Lo que implica que una misma ciudad puede estar expuesta de manera simultánea a diversos riesgos y sus afectaciones varían de un mes a otro en función de la estación del año (SEDESOL, 2012: 30; Dodman, 2010: 30).

Las zonas urbanas con crecimientos veloces que no toman en cuenta las demandas actuales ni futuras de recursos o los efectos del cambio climático serán vulnerables, por un lado, a los efectos negativos de los eventos hidrometeorológicos extremos que implican impactos directos en la infraestructura física de las ciudades como son edificios, carreteras, servicios públicos, alcantarillado y sistemas de energía entre otros, y que afectaran tanto el bienestar como los medios de sustento de sus habitantes. Y por el otro lado, se perjudicará el suministro de agua, energía, bienes y servicios que los ecosistemas prestan a las ciudades. Al mismo tiempo, el cambio climático afectará a un gran número de actividades económicas como el comercio, la fabricación, el turismo y las industrias de seguros entre otras, siendo las actividades recreativas y el turismo una de las principales fuentes de ingreso de las áreas urbanas, por lo que se pueden generar grandes pérdidas en las economías (ONU-HABITAT, 2011: 9, 31-35).

Los impactos del cambio climático en las ciudades se pueden dividir en directos e indirectos. Los impactos directos son repentinos como olas de calor, precipitaciones intensas, inundaciones, deslizamientos de tierra y contaminación entre otros, y acumulativos en el tiempo como el aumento del nivel del mar y de la temperatura, mientras que los impactos indirectos son aquellos que generan interrupciones significativas en las redes socio-técnicas que permiten el funcionamiento de la ciudad, lo que implica la disminución de la capacidad de respuesta de sus habitantes y el incremento de su vulnerabilidad como por ejemplo la escasez de agua (Gran, 2022: 381). Estos efectos afectaran de manera directa e indirecta a las personas, bienes, economías y ecosistemas. Siendo las ciudades con déficit de servicios básicos, carentes de infraestructura o situados en zonas vulnerables o de mala calidad los más afectados (Margulis, 2016: 25).

También, se espera, que los efectos del cambio climático sean especialmente duros en las zonas costeras bajas, en las cuales se localizan muchas de las ciudades más grandes del mundo (ONU-HABITAT, 2011: 32-33). Su vulnerabilidad será mayor en relación con la elevación del nivel del mar y el aumento de episodios de precipitación intensa, por lo que aquellos asentamientos que se encuentran a menos de 100 km de las costas y zonas de menos de 100 metros de altitud serán los más expuestos (Fernández, 2009: 180).

Además, se debe tomar en cuenta que la pobreza preexistente en los centros urbanos genera una exposición desproporcionada al cambio climático debido a diversos factores como: viviendas de mala calidad y carencia de servicios e infraestructura, mayor exposición a los peligros debido a la ubicación de asentamientos en zonas de riesgo como llanuras de inundación natural o terrenos inclinados inestables propensos a deslizamientos, menor capacidad adaptativa debido a la carencia de ingresos o bienes, menor ayuda estatal ante desastres y menor protección legal y económica debido a la carencia de tenencia legal de viviendas y falta de seguros y bienes a prueba de desastres entre otros (ONU-HABITAT, 2011: 36).

El cuadro 4 muestra los impactos incrementales del cambio climático y los riesgos que estos conllevan para los habitantes y sistemas urbanos.

**Cuadro 4. Impactos incrementales del cambio climático y riesgos para los habitantes y sistemas urbanos**

Impactos incrementales en sistemas urbanos	Impactos en los habitantes urbanos
<i>Ambiente construido</i>	Enfermedades: estrés por el calor, golpes de calor, desnutrición, enfermedades transmitidas a través del agua, asma, discapacidad física y mental
Estrés en cimientos de edificaciones	Exposición por construcciones deficientes
Caminos dañados	Interrupción de la prestación de servicios básicos y de acceso de suministros
Cambios en los vectores de enfermedades	Inestabilidad de la vivienda
Estrés en los sistemas de aguas pluviales y residuales	Pérdida de posesiones y reubicaciones
Estrés en los sistemas de tratamiento de agua	Pérdida de los medios de vida
Perturbaciones en la navegación y en los puertos	Fragmentación de la comunidad
Aumento en la demanda de energía	Exposición a toxinas y desechos relacionados con las inundaciones
Incremento en los daños de la infraestructura vial	Perturbaciones en la disponibilidad de agua potable, alimentos y otros suministros
Aumento en la demanda de agua	Escasez de agua
	Escasez de alimentos y precios altos de los mismos
	Cortes de electricidad
<i>Entorno natural</i>	
Erosión de costas, alteración de ecosistemas y humedales	
Salinización de los recursos hídricos	
Inestabilidad de laderas	
Sobreexplotación de aguas subterráneas	
Reducción de espacios verdes y peores condiciones de cultivos	
Aumento de la escorrentía	
Incremento del efecto “isla de calor”	
Aire más contaminado	

Fuente: Retomado de Sánchez, 2013: 37.

Se considera que los impactos del cambio climático serán mayores en las ciudades de América Latina y el Caribe debido a su alta concentración de población, economía y servicios, siendo estas sedes del 81% de la población, 80% de la generación del PIB y sede de la infraestructura y servicios sociales que generan desarrollo en la región (Vega y Rincón, 2023: 11). Sus principales desafíos derivados de este fenómeno son la disponibilidad de agua, los deslizamientos de

tierra y las inundaciones seguido por la disminución de la producción y calidad de alimentos y finalmente la propagación de enfermedades producidas por vectores en todas las altitudes y latitudes de la región (Novillo, 2018: 128).

Como se puede observar, el cambio climático tendrá efectos a corto y largo plazo para las ciudades, principalmente en la salud, aspectos físicos, actividades económicas y sistemas sociales, el daño dependerá de la preparación y la capacidad de respuesta con la que cuente cada ciudad (World Bank, 2011: 11). Por lo que se debe identificar, evaluar y entender el impacto del cambio climático, así como identificar los factores que pueden disminuir los riesgos climáticos (Margulis, 2016: 12).

En este sentido, de acuerdo con la OCDE la vulnerabilidad a escala urbana se encuentra determinada por el tamaño, localización y economía de la ciudad (Fernández, 2009: 179). Mientras que Novillo (2018, 133) relaciona el estudio de la vulnerabilidad urbana al cambio climático con la escala y funcionalidad de las ciudades, su distribución geográfica y situación ecosistémica y, a las condiciones de vulnerabilidad social preexistentes.

Por lo tanto, la vulnerabilidad al cambio climático en zonas urbanas se relaciona a la cantidad de personas y bienes que se encuentran en áreas de alto riesgo, en cuanto a la exposición, se vincula con la planeación del uso de suelo, los débiles mecanismos de defensa estructurales, así como deficientes reglamentos de construcción (ONU-HABITAT, 2011: 38). En cuanto a las condiciones de vulnerabilidad socioeconómica preexistentes, la situación social y económica de sus habitantes, así como la capacidad adaptativa de los mismos y sus instituciones, afectan de manera directa a este tipo de vulnerabilidad, siendo los barrios sin servicios de saneamiento, agua potable y/o red carretera los más vulnerables a los desastres naturales. (Margulis, 2016. 17).

Al mismo tiempo, las áreas urbanas con un crecimiento más acelerado son también aquellas que cuentan con menos recursos para enfrentar el cambio climático debido

a los bajos niveles de gobernabilidad, infraestructura e igualdad social y económica (ONU-HABITAT, 2011:13). El crecimiento urbano informal, presente en las ciudades de América Latina, por lo general implica el asentamiento de la población de bajos ingresos en zonas de riesgo (Sánchez, 2013: 84). Siendo que la informalidad en los asentamientos urbanos es multifactorial, por un lado, se encuentra ligada a las condiciones de pobreza urbana, mientras que por el otro está un Estado deficiente con programas habitacionales, inversiones públicas y planteamiento urbano inadecuado e insuficiente. Así mismo, ésta genera costos sociales, públicos, legales, urbano ambientales, políticos, económicos y fiscales (Novillo, 2018: 132).

De manera general, las ciudades son vulnerables a las inundaciones y, en ciudades costeras a las mareas de las tormentas y el aumento del nivel del mar. Además, las ciudades con infraestructura de drenaje deficiente son más propensas a inundaciones repentinas cada vez más intensas y frecuentes (Margulis, 2016: 17). Por lo tanto, las ciudades son espacios vulnerables en los que es imperante invertir en el diseño de estrategias de adaptación y mitigación a los efectos del cambio climático y la construcción de resiliencia (Novillo, 2018: 126). En un estudio realizado en el año 2014 (CAF, 2014: 6-8) se encontró que el 48% de las ciudades capitales de la región de América Latina y el Caribe ya se encuentran a en riesgo extremo de vulnerabilidad al cambio climático, esto debido principalmente a su ubicación, así como a la concentración de población y de activos. Siendo que, en la región, aproximadamente tres cuartas partes de la población reside en zonas urbanas. A su vez, la mayor parte de las ciudades no cuentan con reglamentación apropiada que regule el proceso de expansión de estas, lo que conlleva a que los grupos de población más pobre se localice en zonas de riesgo alto como son llanuras aluviales, laderas propensas a deslizamientos y zonas carentes de infraestructura de servicios públicos, lo que incrementa la vulnerabilidad no sólo ante fenómenos hidrometeorológicos sino también de salud.

### **Capítulo 3. Marco de Referencia. Metodologías para la determinación de la vulnerabilidad ante el cambio climático**

A pesar de que no existe una metodología universalmente aceptada para el análisis y cuantificación de la vulnerabilidad futura a los impactos del cambio climático (INECC, 2013: 22), se pueden observar una serie de esfuerzos para su estudio y medición.

Algunos autores han analizado las perspectivas climáticas de las ciudades a partir del modelado de los efectos previsibles en las distintas áreas urbanas en función a parámetros como: los cambios de morfología urbana, materiales y vegetación (Arellano y Roca, 2015: 11). A su vez, existen diversas metodologías para evaluar la vulnerabilidad ambiental, la mayoría basadas en indicadores relacionados con el peligro y factores como la escala de análisis y las características de la región o sistema. Sin embargo, no existe una metodología universalmente aceptada para cuantificar la vulnerabilidad al clima (INECC, 2013: p.22, 26). Algunos estudios y metodologías previamente utilizados son:

- Índice de Sostenibilidad Ambiental (ESI) y el Índice de Vulnerabilidad Ambiental. Aplicado a 122 países a partir de 22 indicadores construidos con 67 variables. Donde, la sostenibilidad depende de cinco fenómenos: 1) el estado de los sistemas ambientales, 2) las presiones de niveles de contaminación y explotación, 3) vulnerabilidad humana, 4) capacidad institucional y social hacia los desafíos medioambientales y 5) la capacidad de cooperación con otros países (CEPAL, 2001: 20-21).
- Índice de Vulnerabilidad Ambiental (IVA): considera la vulnerabilidad de los sistemas humanos tomando en cuenta la dependencia entre los sistemas humanos y ecológicos e incorpora tres factores; el nivel de riesgos que actúan en el medio ambiente (exposición al riesgo), resiliencia del medio ambiente (resiliencia intrínseca) y el Subíndice de Degradación Ambiental (CEPAL, 2001: 30, ecio, Siromba y Gutiérrez, 2007: 3-5).

- Índice de Cambio Climático (ICC) como una herramienta de comparación de los cambios en precipitaciones y temperatura existentes (CEPAL, 2009: 16).
- Índice de Maplecroft de exposición: evalúa el riesgo actual de que una región reciba un impacto de un evento extremo relacionado con el clima. No tiene la capacidad de prevenir la localización de los eventos extremos futuros, sin embargo, identifica los patrones amplios de cambios potenciales y zonas de presencia para eventos extremos (CAF, 2014: 21).

Es importante mencionar que las proyecciones de variables climáticas incluyen incertidumbres, sin embargo, el trabajar con más de un escenario de emisiones y un conjunto de MCG con múltiples técnicas de proyecciones regionales minimiza la incertidumbre (PNUMA, 2010: 31-32, 36). A su vez, la disminución de la escala desde nivel nacional, regional y local en la utilización de modelos climáticos aumenta la incertidumbre respecto a las condiciones futuras del clima y los posibles efectos del cambio climático (Nahón, 2011: 18), por lo que es importante generar estudios y análisis a partir de datos a nivel nacional.

A partir de mediados del siglo XX, se han mejorado los modelos numéricos de simulación de procesos de circulación atmosférica, los cuales han sido utilizados para estudiar la variabilidad y el cambio climático (Magaña, 2004: 20). Así mismo, existen estudios generados a partir de modelos generales de circulación (MGC) que indican una correlación entre el calentamiento global y el aumento de gases invernadero en la atmósfera (González et.al. 2003: 278).

Los escenarios de emisiones de GEI, también denominados como SRES son proyecciones de las concentraciones globales de GEI, éstos parten de las posibles condiciones del desarrollo global para los próximos 100 años, por lo general existen dos escenarios, el escenario “A” describe un mundo con alto crecimiento económico y el escenario “B” con crecimiento moderado y por lo tanto bajas emisiones de GEI (CMN, 2009: 127).

Por lo tanto, en el estudio de la vulnerabilidad al cambio climático, es necesario identificar objetivos claros al igual que se deben tomar en cuenta el tipo de insumos (herramientas y datos) a los que se tiene acceso, para de tal forma elegir la metodología más adecuada y adaptarla al caso de estudio específico.

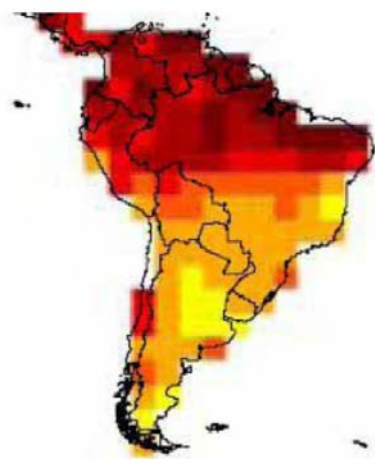
### 3.1 Metodologías internacionales

En este apartado se describen una serie de metodologías realizados a nivel internacional, en los cuales se determina la vulnerabilidad al cambio climático de un territorio o región a partir de diversos enfoques.

#### *Índice de cambio climático para América Latina*

Para el año 2009, la CEPAL construyó el Índice de Cambio Climático (ICC) para América Latina, en el cual realizaron una comparación de los cambios en las precipitaciones y en la temperatura entre los promedios de 1961-1990 y las proyecciones del periodo de 2071-2100. A partir de esta información se detectó que el área con mayores afectaciones será la cuenca del río Amazonas y en Chile, la zona agrícola central (Figura 24).

**Figura 24. Índice de Cambio Climático en América Latina**



Fuente: Retomado de Cepal, 2009, 16.

*Manual de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático para la gestión y planificación local*

Propone una metodología basada en siete pasos para incorporar la dimensión climática en la planificación local. Estos son; la selección del equipo de trabajo, definición de la unidad de análisis y alcance territorial, caracterización de las amenazas, la vulnerabilidad y el riesgo, selección de opciones de adaptación y la redacción de un informe final y recomendaciones (Nahón, 2011: 29-43).

Entre los hallazgos, el autor considera que en el análisis de la vulnerabilidad se deben estimar el número de bienes o personas afectados, los factores socioeconómicos y ambientales que afectan la capacidad de resistir y responder a las amenazas del cambio climático. Por un lado, a mayor cantidad y calidad de bienes, así como mayor diversidad de actividades naturales, mejor capacidad de adaptación. Por el otro lado, a mayor volatilidad en precios y oportunidades de mercado, la vida de sus habitantes será más inestable y por lo tanto más vulnerables (Nahón, 2011: 37).

*CAF, 2014. Índice de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la región de América Latina y el Caribe*

La Corporación Andina de Fomento (CAF) construyó en el año 2014 el Índice de Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático para la región de América Latina y el Caribe, bajo la premisa de que la región sufrirá los diversos efectos del cambio climático debido a que se encuentra en una situación grave de exposición a múltiples riesgos climáticos los cuales se presentarán de manera diversificada tanto en características como en extensión en los diversos territorios. El índice evalúa la vulnerabilidad de las poblaciones humanas a eventos y cambios relacionados con el clima extremo durante los próximos 30 años en los principales parámetros climáticos (CAF, 2014: 5, 16).

Para su construcción se generaron tres índices de riesgo diferenciados:

- Índice de exposición (50%). Evalúa el riesgo de una región a recibir impactos de fenómenos extremos relacionados con el clima y los cambios previstos en los parámetros climáticos de referencia (temperatura, precipitación y humedad específica). Se utilizan los datos de modelos climáticos futuros e información sobre fenómenos extremos del pasado.
- Índice de sensibilidad (25%). Grado al cual un sistema lo afectan los estímulos relacionados con el clima y el cambio climático de acuerdo con las circunstancias físicas, sociales y de los medios de subsistencia de la población relacionados con salud, pobreza, conocimiento, infraestructura, conflicto, agricultura, población y presión sobre los recursos.
- Índice de capacidad adaptativa (25%). Evalúa el potencial de las instituciones de un país, su economía y la sociedad para ajustarse a las presiones existentes o previstas del cambio climático como: la fortaleza de la economía, efectividad y la estabilidad del gobierno, grado de transferencia del conocimiento y las comunicaciones con la población en general, habilidad para desarrollar tecnologías o prácticas innovadoras, disponibilidad de recursos naturales y el grado de dependencia de la agricultura y de otras actividades vulnerables para sostener la economía (CAF, 2014: 15-16).

Los índices de riesgo fueron calculados en el ámbito nacional y subnacional, a partir de indicadores nacionales para calcular un valor único de riesgo para cada país basado en los Índices de riesgo de *MAPLECROFT* con un mínimo de 70% de los indicadores para su cálculo y para el ámbito subnacional se trazaron mapas de alta resolución espacial en cuadrículas cercanas a 22  $km^2$  (CAF, 2014: 17).

Dentro de los resultados se observa que más del 50% de la población de la región de ALC habitaba en países con riesgos “altos” o “extremos” de vulnerabilidad al cambio climático, como se observa en la figura 25. Al mismo tiempo, todas las principales zonas urbanas analizadas, exceptuando en el Caribe se encontraron en riesgo alto o riesgo extremo como son las de El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Bolivia, Surinam y Venezuela, siendo que el 48% de las ciudades

capitales de ALC se encontraban en la misma situación con el agravante de que se prevé que gran parte del crecimiento futuro será en zonas urbanas vulnerables. (CAF, 2014: 6-7). Esto se puede observar en la figura 25, en la cual se muestra la distribución espacial del Índice de vulnerabilidad al cambio climático para la región de América Latina y el Caribe.

**Figura 25. Índice de vulnerabilidad al cambio climático 2014 de ALC.**



Fuente: Retomado de CAF, 2014: 10.

El 75% de los países de Mesoamérica se encuentran en “riesgo alto” de vulnerabilidad al cambio climático, más de la mitad de los países del Caribe enfrentan “riesgos extremos”, mientras que Sur América es la región menos expuesta. En cuanto a la sensibilidad al cambio climático, se considera que los principales impulsores son la pobreza y desigualdad de ALC provocada por empleos de subsistencia marginales poco calificados (CAF, 2014: 7

También se encontró que Haití es el país de la región de ALC con mayores riesgos de vulnerabilidad al cambio climático debido a su escasa capacidad de crear resiliencia ante cambios graduales o fenómenos extremos (CAF, 2014).

#### *Índice de vulnerabilidad al cambio climático de la República de Panamá*

El Índice de vulnerabilidad al cambio climático de la República de Panamá retoma el concepto de vulnerabilidad utilizado por el IPCC en su Cuarto Informe de Evaluación:

$$V = I - CA$$

$$V = (S + E) - CA$$

Donde:

I= impactos potenciales

V= Vulnerabilidad

S= sensibilidad

E= Exposición

CA= Capacidad adaptativa

Dentro de los pasos utilizados en esta metodología se encuentran: la selección de indicadores en el que se incluyen factores como la resolución, lineal de tiempo y disponibilidad, procesamiento de datos, normalización de indicadores, agregación de indicadores para el componente e integración mediante agregación final de los componentes (Calderón y otros, 2021).

El cuadro 5 muestra los indicadores que fueron utilizados para el cálculo de cada componente, es decir exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa.

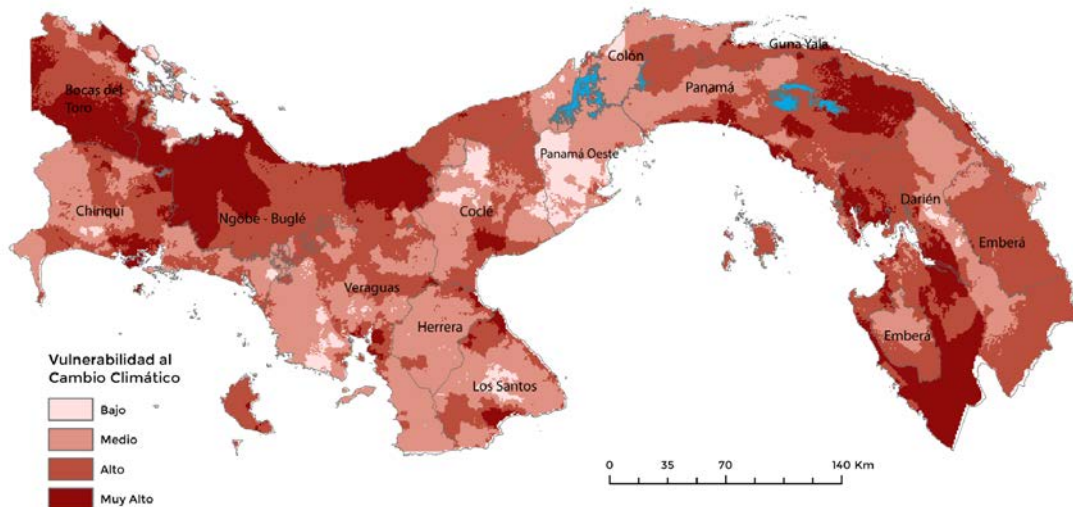
**Cuadro 5. Indicadores por componentes para el Índice de vulnerabilidad al cambio climático.**

Componente	Indicadores
Exposición	Vulnerabilidad costera Frecuencia de inundaciones Anomalías de PCP al año 2050 bajo escenario RCP 8.5 Anomalías de TMP al año 2050 bajo el escenario RCP 8.5 Tierra seca degradada Días secos consecutivos Días consecutivos de lluvia
Sensibilidad	Áreas deforestadas Áreas protegidas
Capacidad Adaptativa	Distancia a carreteras Distancia a Centros de Salud Pobreza general por Corregimiento

Fuente: Retomado de Calderón y otros, 2021: 9.

Para la agregación de cada uno de los componentes se normalizan los indicadores con un mismo nivel de influencia. Dentro de los resultados, como se puede apreciar en la Figura 26, las zonas costeras tienen una mayor vulnerabilidad ante el cambio climático, así como la Zona del Arco seco, cuya vulnerabilidad es resultado de las tierras degradadas y de los días secos consecutivos (Calderón y otros, 2021).

**Figura 26. Índice de Vulnerabilidad al Cambio climático en Panamá**



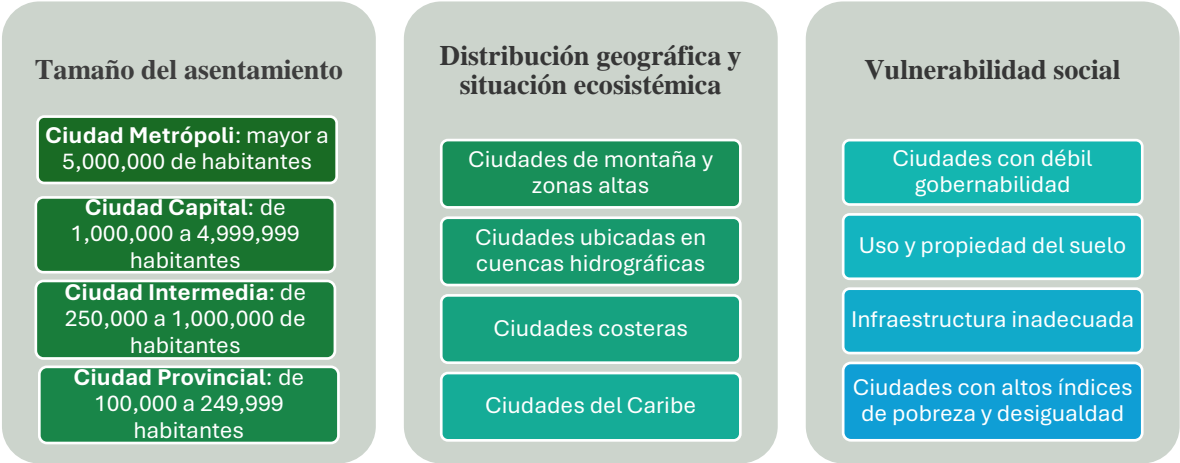
Fuente: Retomado de Calderón y otros, 2021: 25

Como conclusiones se encontró que la vulnerabilidad por el aumento del nivel del mar aunado a la frecuencia de inundaciones toma un papel importante en la composición de la vulnerabilidad al cambio climático, siendo la capacidad adaptativa uno de los componentes más importantes para el país debido a sus condiciones de desigualdad económica y social a lo largo del territorio (Calderón y otros, 2021).

*Cambio climático y conflictos socioambientales en ciudades intermedias de América Latina y el Caribe*

En este trabajo, Novillo (2018), afirma que más del 50% de la población en ALC reside en zonas con riesgo alto de vulnerabilidad al cambio climático, siendo las ciudades intermedias las más sensibles a los efectos de dicho fenómeno. Para comprobarlo, la autora propone tres criterios principales para identificar la vulnerabilidad territorial ante el cambio climático, las cuales pueden observarse en la figura 27.

**Figura 27. Criterios para identificar la vulnerabilidad del territorio ante el cambio climático**



Fuente: Elaboración propia a partir de Novillo, 2018: 133-135.

De manera posterior, Novillo (2018, 135) correlacionó dichos criterios con el índice de vulnerabilidad al cambio climático (IVCC) calculado por el CAF (2014). Dentro de

sus hallazgos menciona que las ciudades intermedias en la región son las que presentan mayor ocurrencia de desastres naturales para el periodo 2010-2016.

Además, dentro de este trabajo se considera que, la escala y funcionalidad de las ciudades tiene una relación directa con la vulnerabilidad urbana al cambio climático, así como la distribución geográfica, la situación ecosistémica y la vulnerabilidad social preexistente en las mismas. Considerándose así que, la altura media, la cercanía a las cuencas hidrográficas, las ciudades costeras y del Caribe tienen una mayor vulnerabilidad, a la par que aquellas ciudades con características como débil gobernabilidad, infraestructura inadecuada, uso y propiedad del suelo inapropiados y población con altos índices de pobreza y desigualdad (Novillo, 2018: 133-135).

### **3.2 Metodologías para la Vulnerabilidad ante el cambio climático en México**

Para el caso de México, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) han generado aportaciones al estudio sobre las condiciones de peligro a los que se encuentra expuesto el país como: grado de peligro de sequías, grado de peligro por ondas de calor y zonas susceptibles a inundaciones (DOM, 2014: 5-6). Así mismo, la Red Mexicana de Modelación del Clima generó un ensamble de proyecciones para la representación de escenarios de cambio climático (SEMARNAT, 2013).

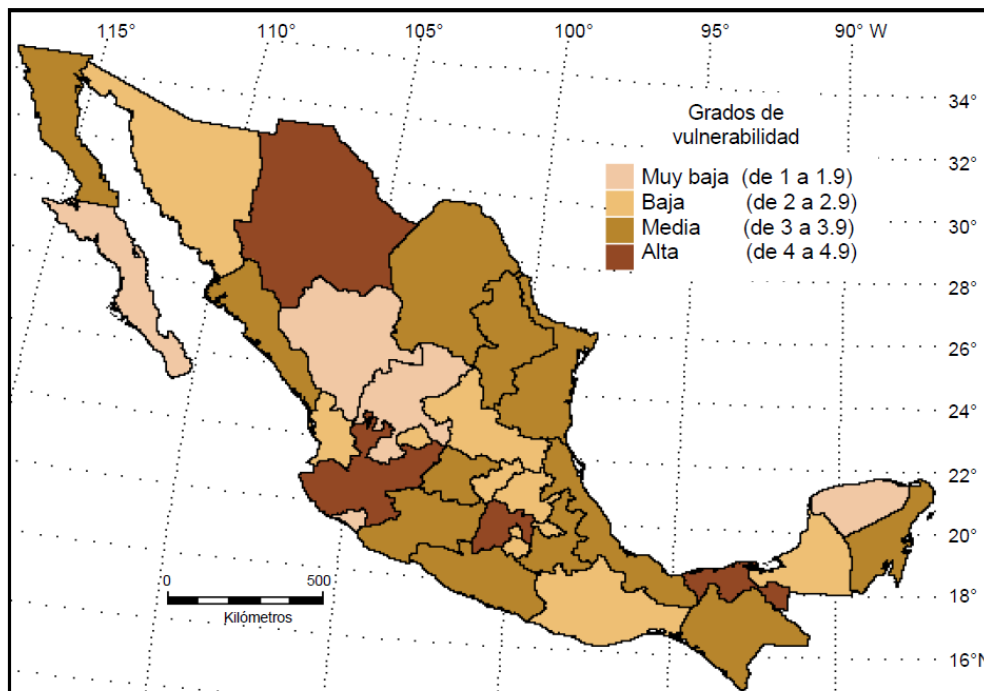
Otro de los estudios realizados en el país es el de Ruiz-Corral y otros (2016), el cual tiene por objetivo regionalizar los patrones de cambio climático a partir del cambio térmico y pluvial. Generaron un análisis discriminante que mostró variaciones en los valores del cambio climático para el año 2050 utilizando el método de componentes principales aplicado en dos ocasiones, el primero con valores de cambio térmico y el segundo con variables de cambio pluvial. El análisis de agrupamiento y de componentes principales fue realizado a partir de 708 puntos y 15 variables del cambio climático. Mientras tanto, el análisis de agrupamiento se realizó a partir del método de incremento en la suma de cuadrados. Sus resultados mostraron 11 grupos con características propias del cambio climático.

Por otro lado, Aguilar (2000) examinó las tendencias de crecimiento demográfico y de urbanización, donde encontró un crecimiento generalizado para todas las regiones, y en particular un crecimiento mayor y más rápido de la población urbana, en las ciudades medias es decir aquellas de 500 mil a menos de 1 millón de habitantes. En la relación entre clima y salud se pronostica un aumento en la mortalidad y niveles de desconfort ocasionado por altas temperaturas y cambio en la distribución de los vectores de enfermedades infecciosas que se desplazarán hacia latitudes norte. Consecutivamente se consideró el consumo de agua para el cálculo del grado de vulnerabilidad por región, a partir del suministro de agua por habitante al año. Enseguida elabora las proyecciones (a partir de cálculos por modelos del Canadian Climate Center y el GFDL-R30 Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) con base en los principales cambios en temperatura y precipitación, para el caso de la duplicación de la concentración atmosférica del bióxido de carbono para el año 2025.

Los resultados apuntan a que las regiones más vulnerables se encuentran en siete estados: Jalisco y Michoacán en el occidente, en la región norte y el Golfo de México, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz y Tabasco, En cuanto al consumo y abastecimiento de agua el Distrito Federal y el Estado de México y en segundo lugar Veracruz, Jalisco, Chihuahua, Coahuila y Guanajuato.

Como se puede apreciar en la Figura 28. en el cálculo de la vulnerabilidad el autor identificó cinco estados con alta vulnerabilidad (Chihuahua, Tamaulipas, Jalisco, México y Tabasco) y 11 estados con vulnerabilidad media (Baja California, Sinaloa, Coahuila, Nuevo León, Michoacán, Guanajuato, Guerrero, Puebla, Veracruz, Chiapas y Quintana Roo) (Aguilar, 2000: 142).

**Figura 28. Grado de vulnerabilidad al cambio climático**



Fuente: Retomado de Aguilar, 2000: 142

Por otro lado, la Red Mexicana de Modelación del Clima, ha reunido los resultados de 15 modelos globales de circulación en un conjunto de proyecciones que representan el futuro clima del país bajo diferentes escenarios del cambio climático (ENCC, 2013; 34). Sin embargo, debido a que el sistema climático es un sistema complejo y no lineal, existen diversas limitaciones en la capacidad actual para desarrollar modelos climáticos para simular las condiciones futuras atmosféricas, oceánicas, continentales, y cuerpos de hielo y nieve (Conde, 2010).

Como se puede observar, existen diversos trabajos de investigación que buscan aproximarse a la medición de la vulnerabilidad al cambio climático en el país, tanto de dependencias gubernamentales como de investigadores particulares. A continuación, se abordan a mayor detalle algunas metodologías significativas en las que se basa este trabajo.

## *Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México*

En 2014, se publicó el trabajo Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México, cuyo principal objetivo fue identificar los territorios más vulnerables a los efectos del cambio climático en el país a partir de datos históricos, estudios previos y escenarios futuros. Al mismo tiempo, busca producir un registro de medidas y acciones de adaptación a corto, mediano y largo plazo que se deberían implementar para disminuir la vulnerabilidad. Para tal efecto los autores utilizaron 60 indicadores aplicados bajo los conceptos de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa para la construcción de un índice de vulnerabilidad (Monterroso y otros, 2014).

Para el cálculo de la exposición tomaron en cuenta 13 variables en tres grupos de indicadores a escala municipal los cuales pueden observarse en Cuadro 6.

**Cuadro 6. Variables consideradas en la evaluación de la exposición**

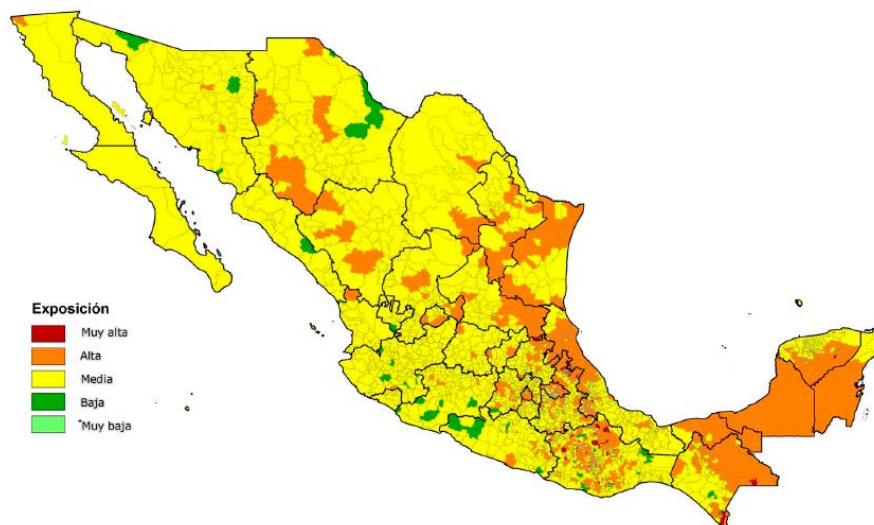
Componente	Variables
Frecuencia de eventos extremos	Total de inundaciones reportadas en el periodo 1980-2005.
	Total de heladas reportadas en el periodo 1980-2005.
	Total de lluvias intensas reportadas en el periodo 1980-2005.
	Total de deslizamientos reportados en el periodo 1980-2005.
	Total de otros problemas reportados en el periodo 1980-2005.
Problemática ambiental	Total de problemas ambientales reportados
	Superficie municipal sin vegetación (%).
	Unidades de Producción (%) en un municipio que reportaron pérdidas por cuestiones climáticas.
Clima y cambio climático	Unidades de producción (%) en un municipio que reportaron pérdidas por falta de fertilidad.
	Razón de cambio (°C) entre temperatura media y el modelo Hadgem A2 al 2050.
	Razón de cambio (mm) entre precipitación media y el modelo Hadgem A2 al 2050.
	Razón de cambio (°C) entre temperatura media y el modelo Echam A2 al 2050.
	Razón de cambio (mm) entre precipitación media y el modelo Echam A2 al 2050.

Fuente: retomado de Monterroso y otros, 2014: 18.

Las variables fueron estandarizadas e integradas a partir de suma aritmética de cada componente, generando 3 subíndices. Posteriormente se integraron para obtener puntaje de exposición por municipio y se normalizó en valores de escala 0

a 100. Por último, se dividieron en 5 partes iguales para definir así, igual número de grados de exposición en el país como se muestra en la figura 29.

**Figura 29. Grado de exposición climática por municipio**



Fuente: retomado de Monterroso y otros, 2014: 19.

La sensibilidad, es evaluada a partir de nueve variables agrupadas en tres dimensiones: población, salud y sector productivo como se muestra en el cuadro 7.

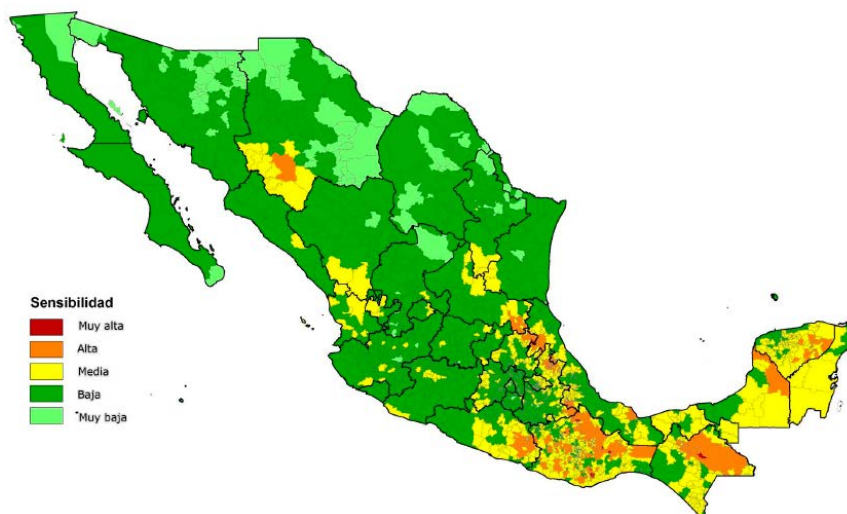
**Cuadro 7. Variables consideradas en la evaluación de la sensibilidad.**

Componente	Variables
Población	% población municipal con jefe de familia femenino.
	% población municipal indígena.
Salud	% población municipal en pobreza alimentaria.
	% municipal de niños con baja talla al nacer.
	% municipal de niños con bajo peso al nacer.
Productivo	% de personas sin acceso a servicios de salud.
	% de superficie municipal en actividades primarias.
	% de superficie municipal que no cuenta con riego.
	% de población municipal dedicada a actividades primarias.

Fuente: retomado de Monterroso y otros, 2014: 23.

Dichas variables fueron estandarizadas e integradas de igual forma que en la evaluación de la exposición para definir los grados de sensibilidad en el país los cuales se muestran en la figura 30.

**Figura 30. Grado de sensibilidad climática por municipio**



Fuente: Retomado de Monterroso y otros, 2014: 24.

En cuanto a la capacidad adaptativa los autores tomaron 16 variables divididas en cuatro dimensiones como se muestra en el cuadro 8.

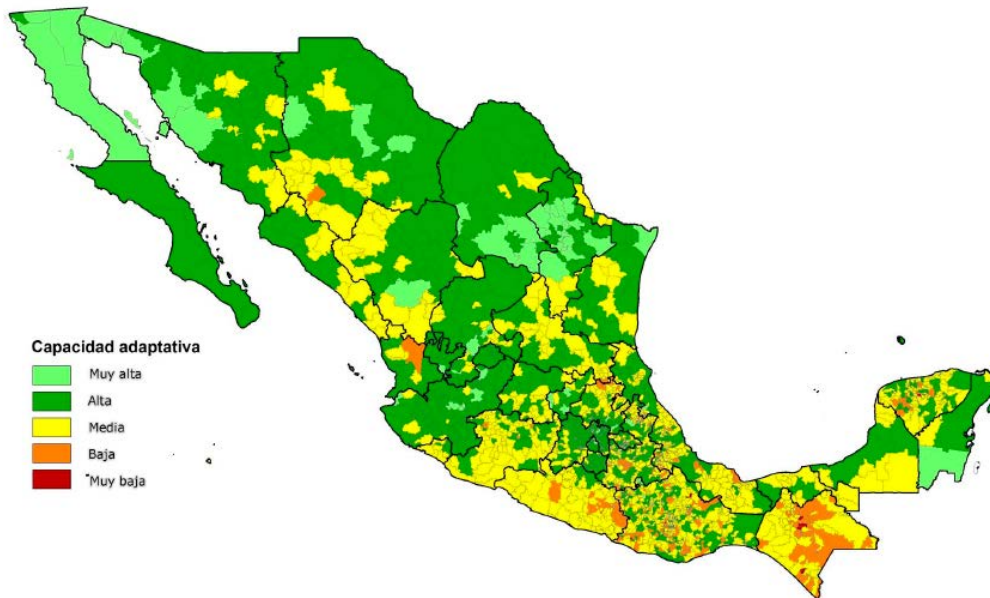
**Cuadro 8. Variables consideradas en la evaluación de la capacidad adaptativa.**

Componente	Variables
Capital humano	% cambio en población al 2030.
	% de población municipal que sabe leer.
	% de población de 5 a 14 años que asiste a la escuela.
	% de población total alfabeta en el municipio.
Capital Social	% de Unidades de Producción en un municipio que están organizadas.
	% de Unidades de Producción en un municipio que no tienen litigio por la tierra.
	% de Unidades de Producción en un municipio que señalaron no tener falta de capacitación.
	% de Unidades de Producción en un municipio que señalaron no tener problemas para producir.
Capital Financiero	% de Unidades de Producción en un municipio que señalaron no tener dificultad para acceder a créditos.
	% de Unidades de Producción en un municipio que reciben remesas de país extranjero.
	% de Unidades de Producción en un municipio que señalaron tener ahorros.
	% de Unidades de Producción en un municipio que señalaron tener crédito.
Capital Natural	% de población que recibe más de 2 salarios mínimos mensuales de ingreso.
	Cambio porcentual en el PIB del 2000 al proyectado en 2030.
	Relación de superficie municipal con bosque o selva.
	Relación de hectáreas reforestadas en el municipio en el 2005.

Fuente: Retomado de Monterroso y otros, 2014: 27.

El método de integración fue igual que en las evaluaciones de sensibilidad y exposición. El resultado obtenido puede observarse en la figura 31.

**Figura 31. Grado de capacidad adaptativa por municipio**



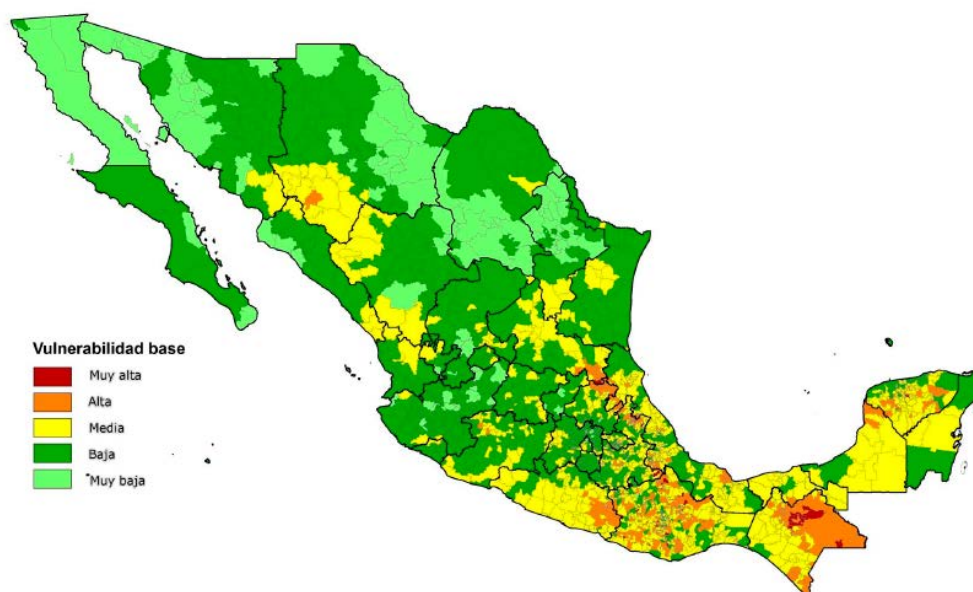
Fuente: retomado de Monterroso y otros, 2014: 29.

Para el cálculo de la vulnerabilidad, los autores utilizaron la siguiente fórmula:

$$Vulnerabilidad = f[(exposición + sensibilidad) - capacidad de adaptación]$$

Se les asignó el mismo peso a todas las variables, el rango de valores final fue dividido en cinco grupos de acuerdo con la distribución geométrica de las frecuencias y a cada grupo se le asignó un indicador cualitativo de severidad en su vulnerabilidad teniendo como resultado la distribución espacial del grado de vulnerabilidad al cambio climático de la figura 32 (Monterroso, 2014).

**Figura 32. Grado de vulnerabilidad al cambio climático por municipio**



Fuente: retomado de Monterroso y otros, 2014: 32.

Además, los autores calcularon la vulnerabilidad sectorial al cambio climático del sector hídrico, biodiversidad, agricultura, ganadería y bosques. Como se puede observar, entre sus resultados los municipios con mayor grado de vulnerabilidad se encontraron en los estados de Chiapas, seguido por Oaxaca, Guerrero, Yucatán, San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, Veracruz y Campeche. Siendo los altos niveles de sensibilidad de su población, así como el bajo grado de adaptación los factores que más peso tuvieron en la distribución espacial del grado de vulnerabilidad al cambio climático.

*Índice de vulnerabilidad, impactos y adaptación al cambio climático del IMCO.*

El Índice de Vulnerabilidad Climática (IVC) del IMCO es una herramienta con el objetivo de identificar las características que hacen que un municipio sea más vulnerable ante el cambio climático a partir de su capital humano y social, la calidad de la infraestructura y las tendencias climáticas del mismo en su pasado cercano. Éste fue aplicado para los municipios de México, así como para sus zonas

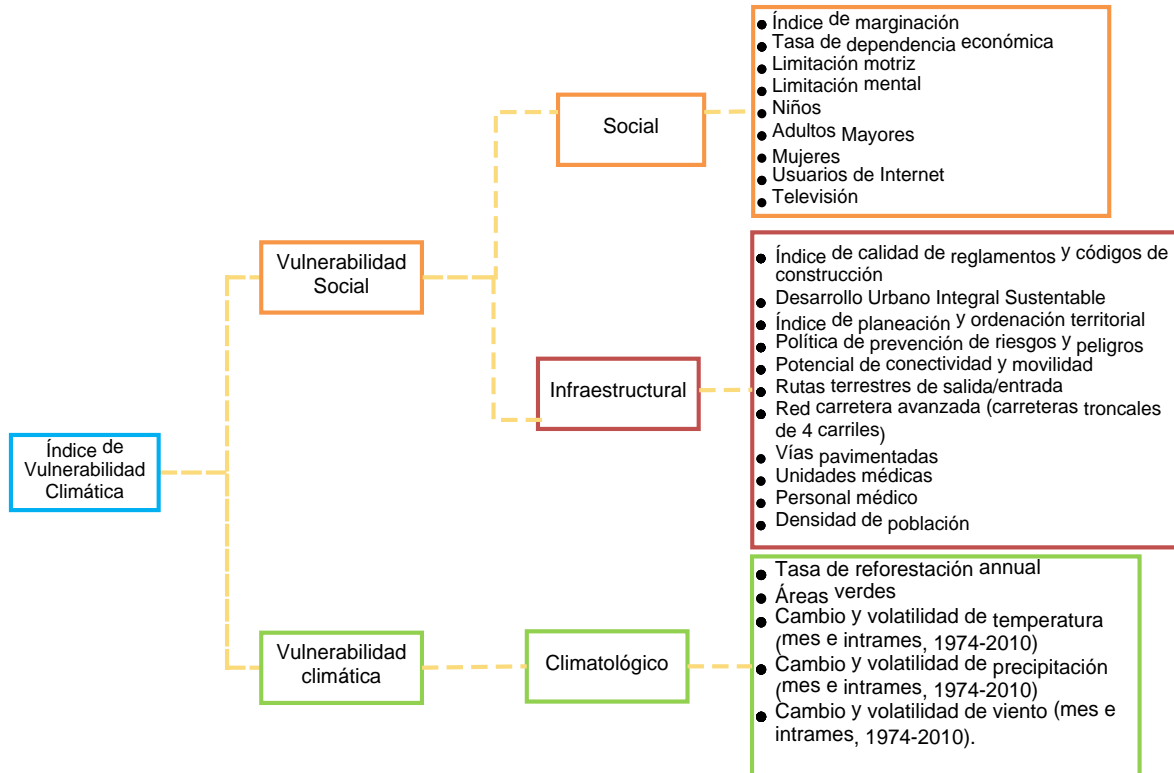
metropolitanas a partir de la selección de 373 municipios conurbados a las 86 ciudades más importantes del país o con mayor demanda de vivienda, que en conjunto representan el 80% del PIB nacional y el 63% de la población total del país (IMCO, 2012).

El índice considera la vulnerabilidad climática en sus dos vertientes, la vulnerabilidad biofísica o climatológica y la vulnerabilidad asociada agravada por el clima. La dimensión social y de infraestructura usan las bases de datos del IMCO, para la primera se analizan los índices de competitividad urbana y vivienda, para el segundo se utiliza el análisis del número de carreteras y rutas de entrada y salida de las ciudades. En tanto, la dimensión geo-hidrometeorológica o climática hace una distinción entre los lugares donde la temperatura, la lluvia y la velocidad del viento se han estabilizado desde los años 70 hasta la fecha y aquellos lugares con cambios perceptibles en promedio mensual para las tres variables y su volatilidad (IMCO, 2010).

La estructura del IVC se compone de 97 indicadores agrupados en 3 dimensiones de vulnerabilidad, donde las variables de dimensión climática fueron construidas con la aplicación WeatherData del programa Mathematica 8.0.1 de Wolfram Research INC y se muestra en la figura 33.

El subíndice social muestra las características que inciden en la vulnerabilidad de la población independientemente de los eventos climáticos en términos económicos, educativos, de información y salud. El subíndice de infraestructura denota las modificaciones humanas al espacio de la localidad que podrían reducir la vulnerabilidad de sus habitantes, es decir, las características físicas del municipio como: servicios de salud, reglamentación de planeación, construcción y ordenamiento y políticas de prevención de riesgos. Por último, el subíndice climático se compone de información de las características geográficas y ecológicas municipales y la descripción de la situación actual de la población, así como un análisis de la tendencia meteorológica.

**Figura 33. Estructura del IVC y variables que lo componen**



Fuente: Retomado de IMCO, 2012: 14

Para los indicadores climáticos se tomaron en cuenta los datos de temperatura, precipitación y velocidad del viento promedio mensual del periodo- 1974-2010, ordenados por municipio y cronografía para la comparación de éstos. A su vez, se calcularon la desviación estándar y el valor promedio para dos grupos de años (1974-1999) y (2000-2010) por cada variable, así como los cambios porcentuales entre ellos por municipio. La metodología es relativamente indiferente entre el aumento y la disminución de las temperaturas en promedio, en contraste, la varianza (volatilidad) es un factor medular del análisis (IMCO, 2013).

Para la construcción del índice se asignaron calificaciones altas a los municipios donde la volatilidad de las variables intrames no se modificó, y, por otro lado, a los municipios con alta variabilidad se le otorgaron calificaciones bajas. Posteriormente, las variables se normalizaron en una escala de 0 a 100 con respecto a los valores

que presentan el resto de los municipios. Finalmente, el IVC se construye por agregación lineal de las variables sociales, infraestructura y clima bajo la ponderación siguiente: pilar climático 50%, pilar social 25% e infraestructura 25% (IMCO, 2012).

Los estados donde se ubicaron los municipios con vulnerabilidad muy alta fueron: Veracruz, México, Oaxaca, Puebla y Colima. Mientras que los municipios que presentaron vulnerabilidad muy baja son: Nuevo León, Tamaulipas, Yucatán, Coahuila, Chihuahua, Baja California, Quintana Roo, Sonora, Distrito Federal y Jalisco. Las zonas ricas en infraestructura con una sociedad más articulada no son tan vulnerables a pesar de tener climas impredecibles como es el caso de la Ciudad de México y su zona conurbada (IMCO, 2012).

Las calificaciones de vulnerabilidad municipales permiten observar latitudes de mayor riesgo (social, de infraestructura o climático). La vulnerabilidad ante la tendencia cambiante del clima es mayor en las regiones Centro Sur, Occidente, Oriente y Centro Norte, debido a que presentan tendencias de cambios drásticos en el clima independientemente de las condiciones sociales y de infraestructura (IMCO, 2012)

Este trabajo afirma que la vulnerabilidad municipal depende de las condiciones geográficas e hidrometeorológicas históricas de la región en la que se localizan. La temperatura anual ha aumentado aproximadamente 5% en la última década, pero su variabilidad ha disminuido 34.8%. El mayor aumento de temperatura fue entre 28% y 40%, mientras que las disminuciones de temperatura fueron entre 10 y 27%. Así mismo, 66% de los municipios se ha vuelto más cálido en más de 6 meses del año y 34% ha disminuido su temperatura a lo largo del año (IMCO, 2012).

Por último, se concluye que los municipios menos poblados son los más vulnerables ante el cambio climático y su impacto directo en las personas, probablemente porque su ubicación es más alejada del centro de las zonas metropolitanas, así mismo pueden ser las comunidades más pobres. Una población pequeña puede

asociarse con menores niveles de inversión en infraestructura, por tanto, la vulnerabilidad climática y general no se asocia de manera significativa con el tamaño de la población de los municipios (IMCO, 2012).

### *Guía Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad ante Cambio Climático*

La Guía Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad ante Cambio Climático tiene como objetivo apoyar a la estimación del riesgo y generar escenarios de los posibles impactos derivados del cambio climático con base en el análisis de la vulnerabilidad a partir de tres etapas: *Diagnóstico, Modelo Conceptual y Validación* (INECC, 2013).

De acuerdo con esta metodología, la exposición, será evaluada a partir de la presencia de peligro, el cual es una condición que al presentarse se transforma en amenaza y puede generar efectos negativos en los sistemas. Se representa por la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno meteorológico particular a partir de datos históricos y el análisis de la ocurrencia de los mismos (INECC, 2013).

Para los escenarios a futuro el INECC (2013) recomienda analizar un periodo de los valores de vulnerabilidad similar al periodo histórico analizado considerando que el incremento de los plazos conlleva un aumento de la incertidumbre. Lo mismo sucede en el caso de los indicadores, donde a mayor número de ellos, mayor será la incertidumbre en la proyección.

De manera tradicional, el peligro de cambio climático se ha analizado a partir de las proyecciones de los valores medio de temperatura y precipitación. Sin embargo, los valores extremos son los datos que aportan más información sobre el riesgo. Ejemplo de ello son las temperaturas máximas o mínimas (INECC, 2013: 28). Al mismo tiempo, los factores de la vulnerabilidad que se deben evaluar son: grado de antropización, biodiversidad, actividades productivas, densidad de población, distribución, dinámica demográfica, ingreso, condición social, nivel de escolaridad y acceso a servicios entre otros. (INECC, 2013).

Los pasos por seguir por cada etapa de la metodología son:

- Diagnóstico:
  - Definir el objeto de estudio (región, sector o grupo social)
  - Identificar los fenómenos climáticos con impacto negativo en el objeto de estudio.
  - Analizar las causas de los desastres.
- Modelo conceptual:
  - Información para la cuantificación de los factores de vulnerabilidad y su caracterización.
  - Construcción de indicadores normalizados con historia reciente.
  - Obtención de un índice de vulnerabilidad
  - Análisis comparativo entre regiones o grupos.
- Validación del modelo:
  - Validar el modelo de vulnerabilidad (Modelo de Riesgo) a partir de la dinámica histórica del riesgo a partir de la probabilidad del peligro y el índice de vulnerabilidad. (INECC, 2013).

El cálculo de un modelo de vulnerabilidad es el primer paso para la gestión del riesgo, por lo que permite entender no sólo las causas del mismo, sino también las medidas para su reducción. Dicho modelo debe ser aplicado al pasado reciente de tal manera que se puedan identificar los factores físicos, sociales o económicos que generan los desastres (INECC, 2013).

*Desarrollo de estrategias de adaptación al cambio climático en municipios vulnerables del noreste de México según el INECC*

El INECC, publicó el trabajo “Desarrollo de estrategias de adaptación al cambio climático en municipios vulnerables del noreste de México”, con el objetivo principal de diseñar una estrategia de adaptación a la variabilidad y el cambio climático en el municipio de Tijuana con metas alcanzables a corto, mediano y largo plazo (INECC, 2015).

Parte de que la vulnerabilidad se encuentra en función de los siguientes elementos: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa y evidencia de daño. La evidencia de daño recibió mayor peso en la ecuación de la vulnerabilidad social que la capacidad adaptativa, calculado a partir de la recurrencia de los daños a lo largo de la serie de tiempo. Ésta se construye a partir de registros históricos de daños y desastres asociados a eventos hidrometeorológicos y climáticos a nivel municipal de fuentes como: registros de protección civil local o estatal, declaratorias de emergencias o desastres del CENAPRED o notas de prensa. La base de datos fue construida para el periodo de 1970 a 2015, con registros clasificados, analizados y en su mayoría georreferenciados en el espacio municipal (INECC, 2015).

Primero se generó una base de datos de eventos extremos (precipitación y temperatura) con los eventos que superaron la media registrada a nivel local a partir de los datos del Sistema Meteorológico Nacional (SMN). Para la sensibilidad se tomaron en cuenta variables del Censo Nacional de Población y Vivienda 2010. El análisis de la capacidad adaptativa se realizó a partir del levantamiento de una encuesta en 1 mil hogares para documentar el capital social como parte de la capacidad adaptativa. (INECC, 2015).

Por otro lado, se identificaron actores clave en los sectores público, privado y social con interés, a los cuales se les realizaron entrevistas semiestructuradas y se realizaron talleres para consensar y socializar los resultados del proyecto. A su vez, la vulnerabilidad social es específica de acuerdo con las amenazas (INECC, 2014).

En cuanto a la implementación de estrategias de adaptación municipal, proponen cinco etapas: análisis, diseño, implementación, comunicación y difusión, seguimiento, evaluación y retroalimentación. Dentro de la revisión de los Planes de Acción Climática Municipales se manifiesta una escasa discusión sobre adaptación y una tendencia hacia las acciones de mitigación, así mismo, en pocas ocasiones retoman evidencia científica como parte del diseño de propuestas. Por otro lado, el objetivo general de la estrategia de comunicación social es difundir información útil

y oportuna a la población para reducir el nivel de vulnerabilidad y mejorar la capacidad de adaptación al cambio climático (INECC, 2014: 1-3).

*Las dimensiones sociales del cambio climático en México, según el Banco Mundial*

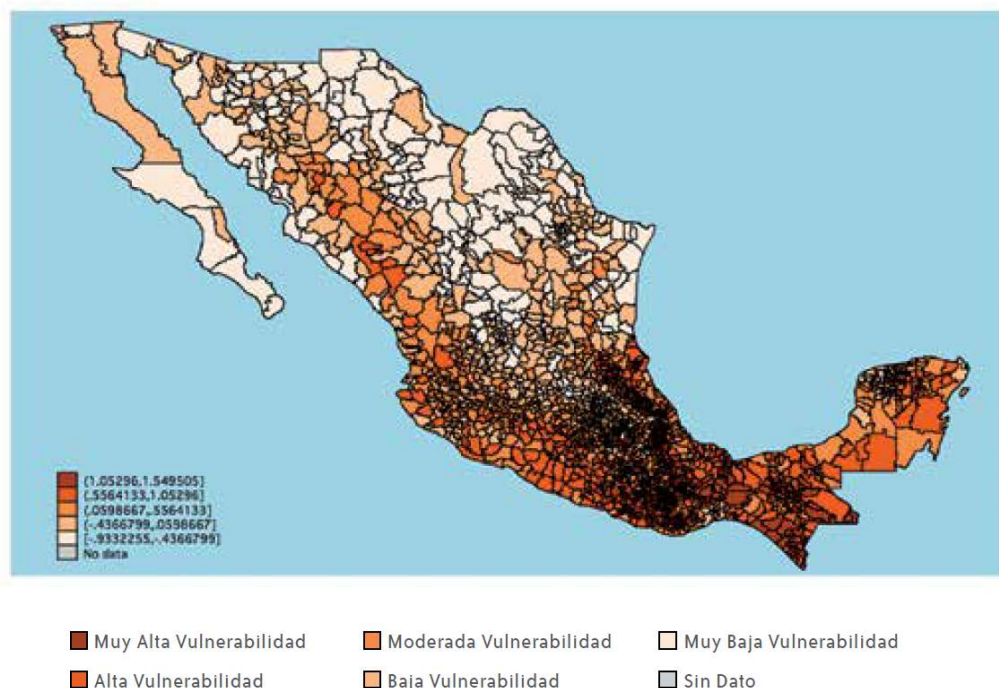
El objetivo del trabajo del Banco Mundial (2015) fue analizar los principales impactos sociales del cambio climático en México y evaluar la pertinencia de acciones de política para fortalecer la resiliencia entre los grupos sociales vulnerables que viven en lugares expuestos. Para lo cual se usó análisis espacial y temporal de datos secundarios sobre aspectos de exposición en los municipios y hogares, sensibilidad y capacidad de adaptación al cambio climático.

De acuerdo con los análisis realizados a nivel municipal para el país, los municipios con mayor riesgo son aquellos que están constituidos por viviendas de bajos ingresos e infraestructura pública insuficiente (carreteras, hospitales, escuelas y puentes), con perfiles socioeconómicos bajos, escasos instrumentos de respuesta a desastres y en riesgo de deforestación. Los municipios con niveles de alto riesgo son en su mayoría pobres y rurales, con poblaciones indígenas, y mayor número de viviendas con piso de tierra y con hogares encabezados por mujeres. Además, sólo 21% de los municipios con altos niveles de riesgo hidrometeorológico cuentan con un plan de respuesta ante desastres, 61% con programa de defensa civil y más de 50% cuentan con mapas de riesgos. A su vez, 70% de los municipios con niveles de alto riesgo de desastres naturales tienen alto riesgo de deforestación de acuerdo con el INECC. (Banco Mundial, 2015).

El Banco Mundial (2015) considera que la evaluación de riesgos de desastre a nivel municipal debe realizarse a partir de un análisis espacial de las amenazas naturales y sus afectaciones en bienes clave privados y públicos, como son viviendas de bajos ingresos, hospitales, escuelas, caminos etc. debido a que los desastres naturales propiciarán el aumento de la pobreza en este nivel territorial. Se halló que 60% de los 441 municipios más marginados del país cuentan con un nivel elevado de riesgos hidrometeorológicos como inundaciones y huracanes, siendo este tipo de

municipios los que tienen menor capacidad de adaptación y a su vez tienden a sufrir mayores pérdidas de infraestructura después de la presencia de un desastre. La Figura 34 muestra el índice de vulnerabilidad al cambio climático predictivo para 2045.

**Figura 34. Índice de vulnerabilidad al cambio climático predictivo para 2045**



Fuente: Retomado de Banco Mundial, 2015: 26.

En el cual se observa que los mayores grados de vulnerabilidad en el país se localizarán en el centro y sur del país. La vulnerabilidad alta y persistente se presenta en el Pacífico Sur y en la Península de Yucatán, a su vez que el aumento de las temperaturas aumentará la vulnerabilidad en los municipios del norte y centro del país (Banco Mundial, 2015: 26).

#### *Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático*

Debido a que México es un país vulnerable a los efectos del cambio climático y que este fenómeno se incrementara a lo largo del tiempo, el Instituto Nacional de

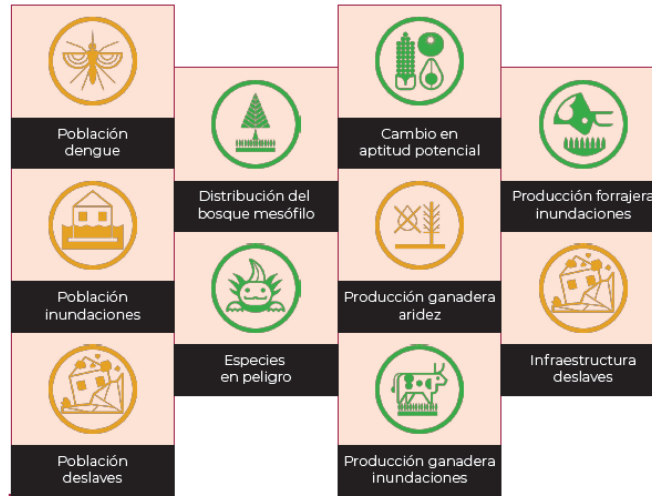
Ecología y Cambio Climático (INECC) realizó un Índice de Vulnerabilidad ante el Cambio Climático y un Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (ANVCC), los cuales buscan identificar la vulnerabilidad de la población o, el sistema natural, la infraestructura y las actividades económicas del país (INECC, 2019).

El ANVCC es una herramienta para identificar las oportunidades de implementación de acciones de adaptación para la disminución de la vulnerabilidad al cambio climático y para el monitoreo de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional del Acuerdo de París en los tres órdenes de gobierno. Evalúa problemáticas específicas relacionadas con el clima evidenciando la vulnerabilidad diferencial en el territorio en condiciones climáticas actuales y escenarios climáticos futuros (INECC, 2019).

Dentro de su metodología, el primer paso es la identificación de las problemáticas asociadas con el clima que impactan en sistemas sociales productivos, económicos y naturales. En la identificación se busca la localización de la problemática, su origen y quién o qué es impactado por la amenaza, para lo cual se toma un enfoque participativo con 36 dependencias del gobierno a partir de la realización de dos talleres. Las amenazas identificadas fueron el incremento de la temperatura y precipitación, incremento del nivel del mar y disminución en la precipitación. A continuación, se identificaron cuatro temas focales que son: población, infraestructura, actividades económicas y sistema natural (INECC, 2019: 23-26).

A su vez, el ANVCC busca enfocarse en problemáticas específicas relacionadas con el clima, con el objetivo de establecer las causas subyacentes de la vulnerabilidad y así comparar y analizar las capacidades institucionales para afrontar las amenazas derivadas del cambio climático (INECC, 2019). Dichas vulnerabilidades se desglosan en la figura 35.

**Figura 35. Vulnerabilidades identificadas en la primera fase del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático**



Fuente: Retomado de INECC, 2019: 27.

Así mismo, toma en cuenta los conceptos de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa para el análisis multicriterio, de tal forma que la dinámica territorial es tomada en cuenta en su construcción (INECC, 2019: 27).

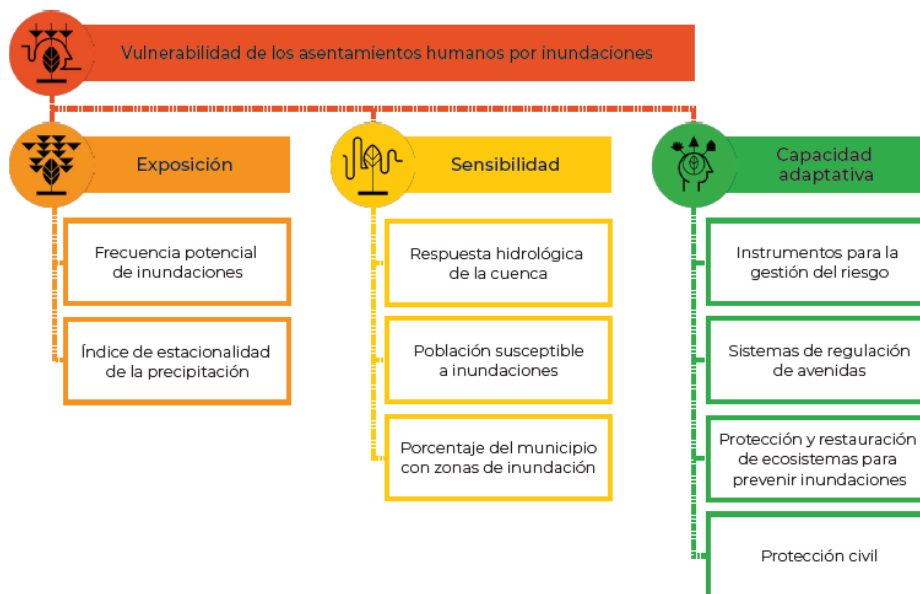
Para los indicadores de exposición actual el ANVCC toma en cuenta las variables climáticas de temperatura y precipitación, así como su intensidad, duración, temporalidad, distribución espacial y patrones de estacionalidad. Para los indicadores de exposición futura se toman en cuenta los escenarios de cambio climático a partir de cuatro modelos de circulación general. En cuanto los indicadores de sensibilidad se consideran el grado de transformación del espacio como la distribución y ubicación de la población, falta de servicios, grado de urbanización, crecimiento poblacional y las condiciones y susceptibilidad del objeto vulnerable como la deforestación entre otros. Para los indicadores de la capacidad adaptativa se tomaron en cuenta los recursos humanos, institucionales y de infraestructura que permiten afrontar las amenazas de mejor forma (INECC, 2019).

Se construyeron seis índices que son: Vulnerabilidad de los asentamiento humanos por inundaciones, vulnerabilidad de los asentamientos humanos por deslaves,

vulnerabilidad de la población al incremento en la distribución potencial del dengue, vulnerabilidad de la producción forrajera ante estrés hídrico, vulnerabilidad de la producción ganadera ante estrés hídrico, vulnerabilidad de la producción ganadera por inundaciones y el análisis del cambio de distribución potencial actual de especies prioritarias y en la NOM-059. Sin embargo, para términos de esta investigación se retoman solo los índices cuyo grupo de trabajo es la población.

Para el Índice de vulnerabilidad de los asentamientos humanos por inundaciones, el objeto vulnerable son los asentamientos humanos y la unidad de agregación es municipal. En este, se toma en cuenta que las inundaciones en asentamientos humanos o zonas de actividad productiva provocan afectaciones tanto en las vidas humanas como en las propiedades, donde el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) reporta que 62% de daños y pérdidas reportadas por eventos extremos corresponden a lluvias e inundaciones, siendo la vivienda el rubro más afectado (INECC, 2019: 33). La Figura 36 muestra las variables que configuran este índice.

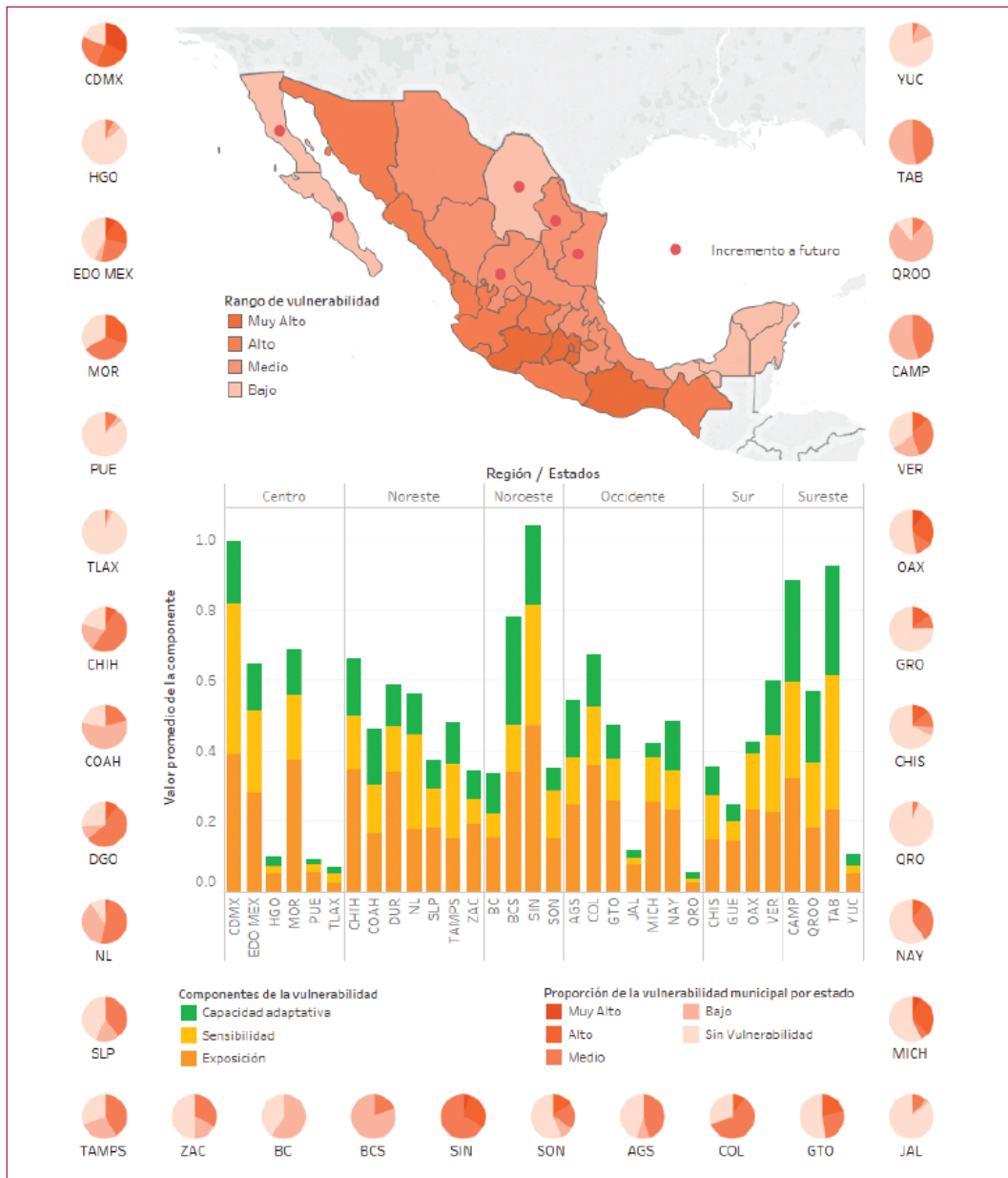
**Figura 36. Configuración de Índice de vulnerabilidad de los asentamientos humanos por inundaciones**



Fuente: Retomado de INECC, 2019: 34.

En la Figura 37 se puede observar el rango de vulnerabilidad estatal, así como el incremento esperado a futuro, además de verse el nivel de los componentes de la vulnerabilidad siendo Sinaloa, Ciudad de México, Tabasco y Campeche los estados de la República más afectados.

**Figura 37. Vulnerabilidad de los asentamientos humanos por inundaciones**

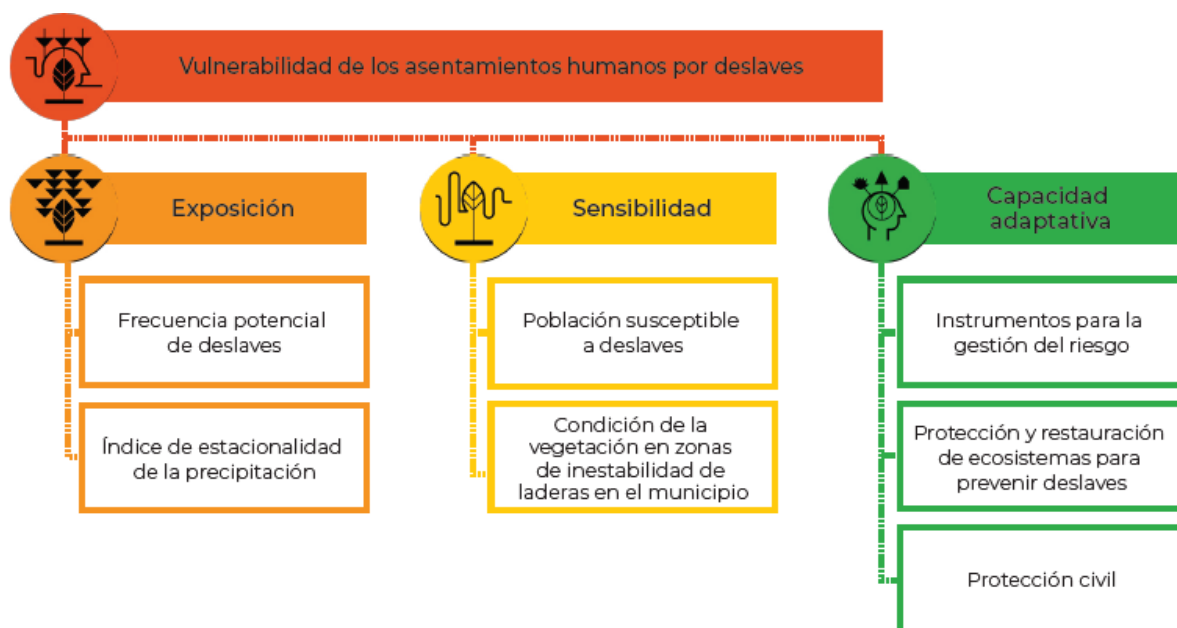


Fuente: Retomado de INECC, 2019: 52.

Por otro lado, para el Índice de vulnerabilidad de los asentamientos humanos por deslaves se tomó en cuenta también el grupo de trabajo de población, los asentamientos humanos como objeto vulnerable y la unidad de agregación municipal. Las comunidades urbanas o rurales que se encuentran localizadas al pie o sobre laderas y montañas tienen un mayor riesgo por deslaves, siendo Baja California, Chiapas, Colima, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Puebla y Veracruz los estados que históricamente han presentado mayores daños materiales y pérdidas de vidas humanas (INECC, 2019).

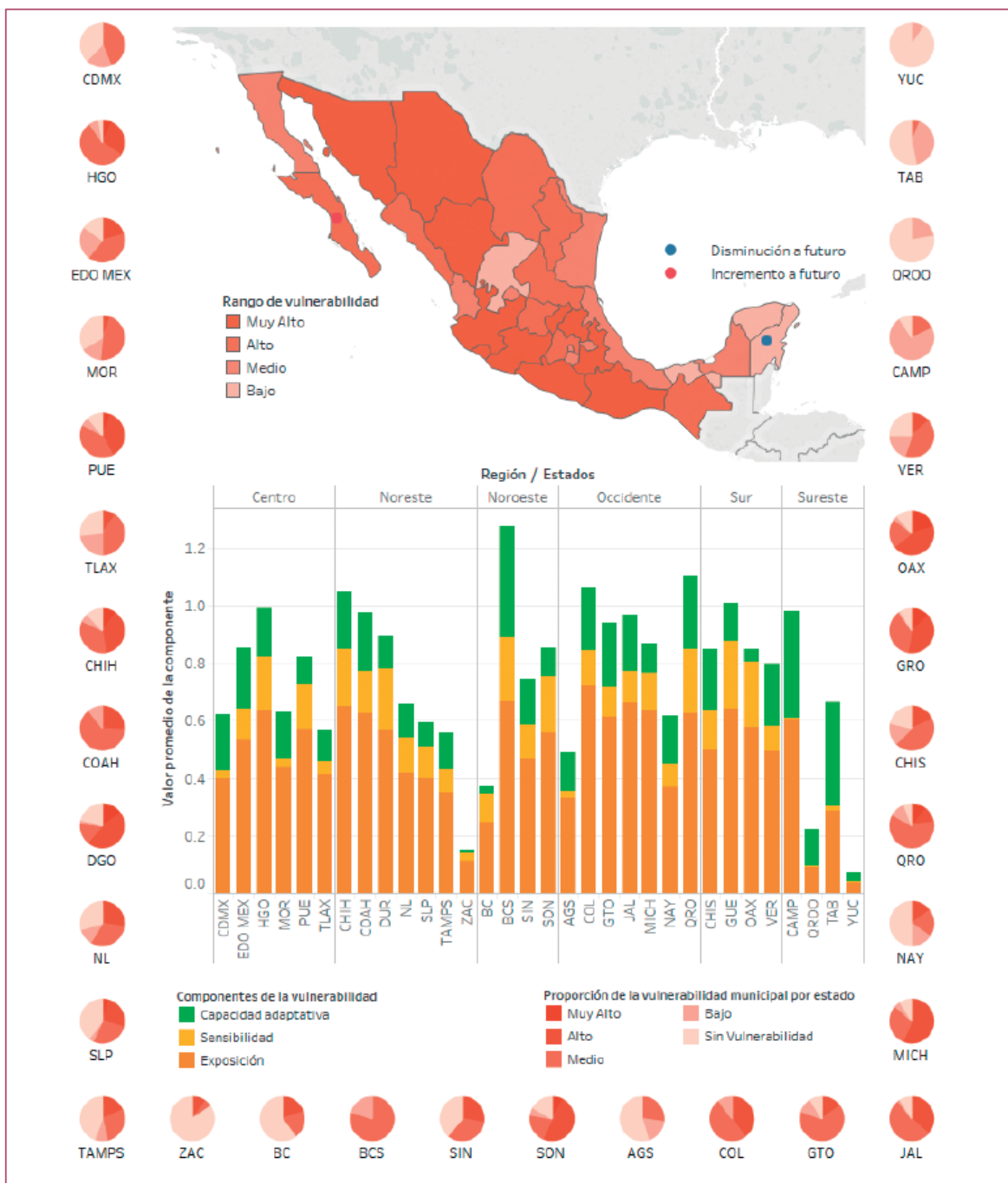
La figura 38, muestra la configuración de índices para la vulnerabilidad de los asentamientos por deslaves. Mientras que la figura 39 muestra la distribución de la vulnerabilidad de los asentamientos por deslaves a nivel estatal, así como la composición de ésta, siendo Baja California Sur el Estado con mayor vulnerabilidad actual, seguido por Querétaro, Colima, Chihuahua, Guerrero, Hidalgo y Campeche.

**Figura 38. Vulnerabilidad de los asentamientos humanos por deslaves.**



Fuente: Retomado de INECC, 2019: 58.

Figura 39. Vulnerabilidad de los asentamientos humanos por deslaves

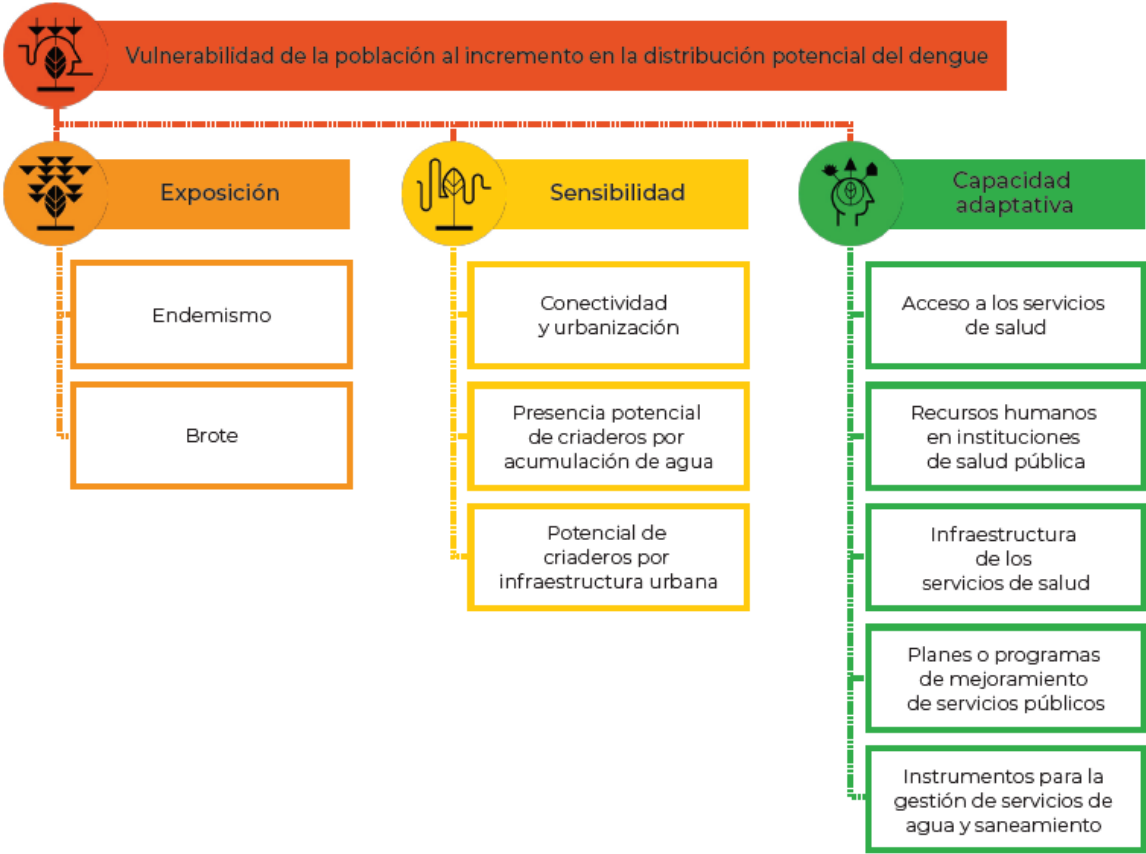


Fuente: Retomado de INECC, 2019. 72.

En cuanto a la vulnerabilidad de la población al incremento en la distribución potencial del dengue, se considera a México un país con condiciones que favorecen

la proliferación del dengue, donde 60% del territorio nacional es apto para la transmisión de enfermedades transmitidas por vector. En los últimos diez años, las regiones Pacífico y del Golfo de México se han visto afectadas principalmente en la población rural e indígena, así como población juvenil y pediátrica (INECC, 2019). La figura 40 muestra la composición del índice.

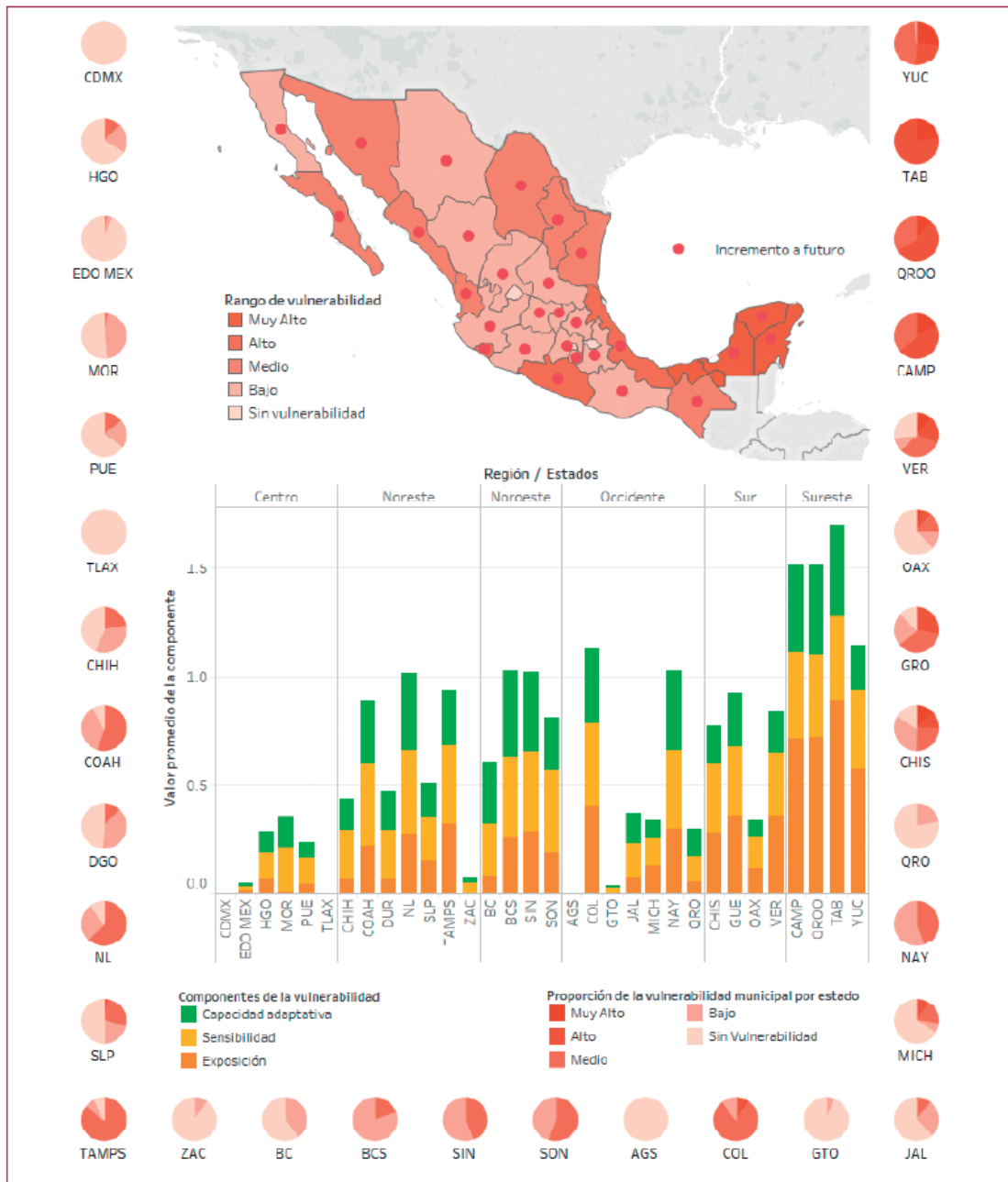
**Figura 40. Composición de índice de vulnerabilidad al incremento en la distribución potencial del dengue**



Fuente: Retomado de INECC, 2019: 79.

La figura 41 muestra la vulnerabilidad actual y futura al incremento en la distribución potencial del dengue siendo estados como Tabasco, Campeche y Quintana Roo los más afectados, seguidos por Colima, Quintana Roo, Nuevo León, Nayarit, Sinaloa y Baja California Sur. A nivel nacional se prevé un incremento a futuro de este tipo de vulnerabilidad.

**Figura 41. Vulnerabilidad de la población al incremento en la distribución potencial del dengue**



Fuente: Retomado de INECC, 2019: 98.

## Capítulo 4. Metodología

Debido a que la presente investigación busca profundizar en la interpretación y comprensión de las interacciones y dinámicas existentes entre la vulnerabilidad al cambio climático, y la relación entre el territorio, la sociedad y los desastres naturales, se puede decir que es una alternativa para el estudio y abordaje de problemáticas ambientales y territoriales en el país.

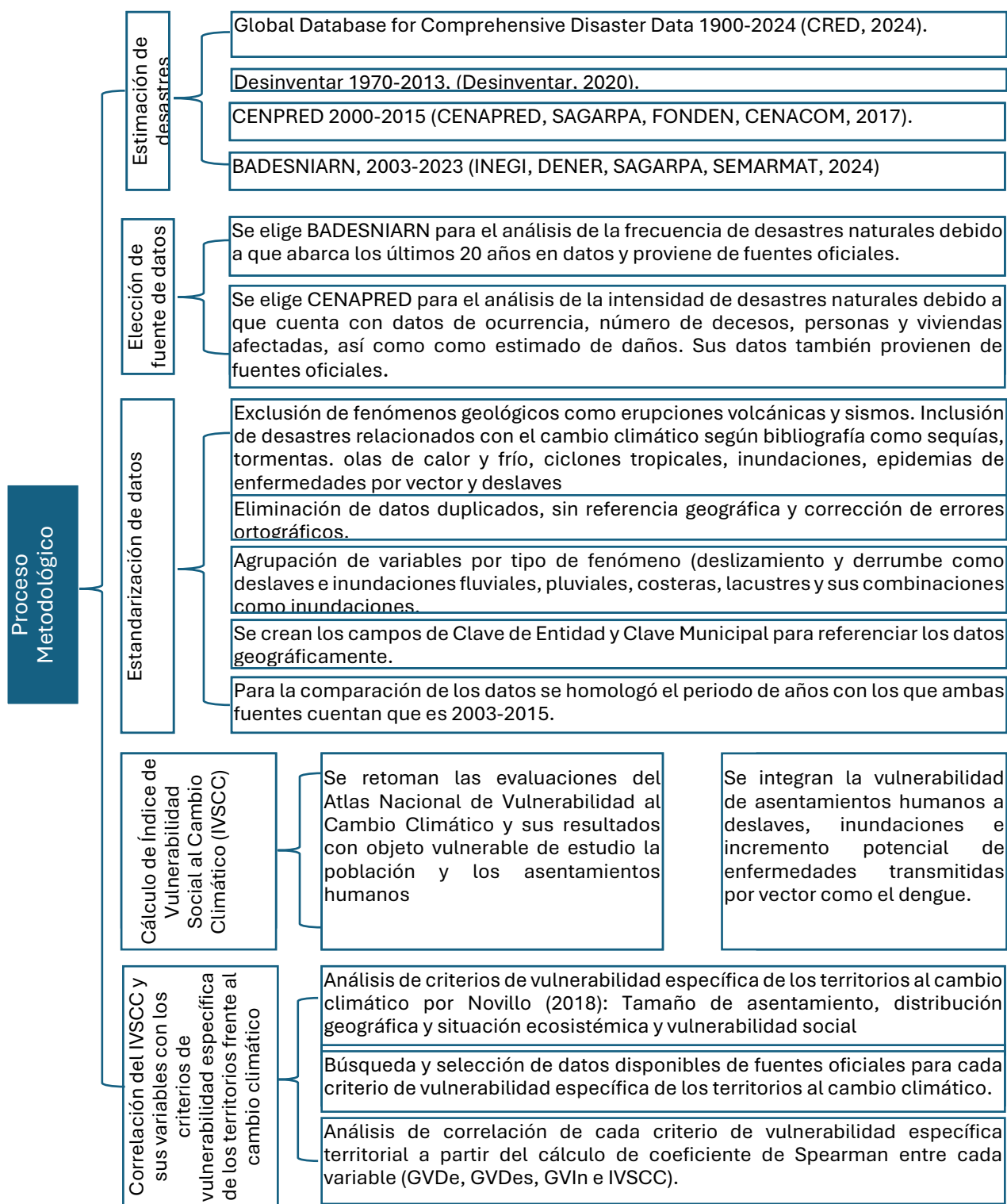
En una primera instancia se construyó el marco teórico a partir de una extensa revisión de literatura que incluyó libros, artículos científicos y artículos periodísticos centrados en el cambio climático, su origen y elementos que interactúan entre sí. Al mismo tiempo se caracterizan, identifican y describen sus diversos efectos tanto en el medio ambiente como en la sociedad. De manera particular se enuncian dichos efectos observados en América Latina y en el territorio nacional.

Además, se utilizaron múltiples fuentes secundarias de información para la definición y estudio de la vulnerabilidad, tanto al cambio climático y como la vulnerabilidad urbana en ese aspecto, lo que permite una amplia fundamentación teórica para el presente trabajo.

Así mismo se abordaron diferentes líneas de investigación, teorías, metodologías y autores que estudian la vulnerabilidad al cambio climático tanto a nivel internacional como nacional con sus respectivos resultados, lo que permitió orientar el diseño metodológico de la investigación.

La propuesta metodológica se divide en seis etapas que pueden observarse de manera particular y desglosada en la figura 42. La primera etapa consta de la recolección de datos y registros históricos de diversas bases de datos sobre los desastres naturales ocurridos en México. La segunda corresponde a la elección de la fuente de datos de acuerdo con la periodicidad, actualidad y confianza de los datos.

**Figura 42. Esquema metodológico**



Fuente: Elaboración propia.

Como tercera etapa se procedió al procesamiento de los datos para identificar la frecuencia de los distintos tipos de desastres naturales ocurridos en el territorio nacional y el análisis de su distribución geográfica mediante su representación cartográfica. Posteriormente se analizaron los resultados de las vulnerabilidades específicas al cambio climático cuyo objeto vulnerable es la población del ANVCC y se procede a calcular un Índice Social de Vulnerabilidad al Cambio Climático (IVSCC), el cual también es analizado de manera espacial. Finalmente se estudió la correlación del IVSCC, así como cada uno de los índices que lo componen con las variables de vulnerabilidad territorial propuestas por Novillo (2018).

#### **4.1 Estimación de desastres naturales en México**

Para la estimación de los desastres naturales en México se consultaron una serie de bases de datos históricas internacionales y nacionales, entre las que se encuentran la base de datos internacional de desastres EM-DAT (CRED, 2024), también denominada “Global Database for Comprehensive Disaster Data”, la cual proporciona información detallada sobre la ocurrencia de desastres naturales a partir del año 1900 a la fecha e incluye variables como el tipo de desastre, fecha, ubicación, número de personas afectadas, daños económicos, y número de fallecidos entre otros.

A su vez, se consultó el Sistema de Inventario de Efectos de Desastres DESINVENTAR (2020), que es una herramienta conceptual y metodológica para la construcción de bases de datos de daños y pérdidas generadas por los desastres, que se encuentra respaldado y patrocinado por diversas organizaciones internacionales siendo la Oficina de las Naciones Unidas para la reducción del riesgo de desastres (UNDRR) y el Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (UNDP), cuyos datos provienen de fuentes hemerográficas y proporciona datos para México de 1970 a el año 2013. Entre los datos que ofrece se pueden encontrar el tipo y número de desastre natural por año, estado y municipio, así como número de fallecimientos, pérdidas económicas y daños de infraestructura.

Dentro de las bases de datos nacionales que se consultaron se encuentran las de CENAPRED (2017) y la de BADESNIARN (2024). La primera es la base de datos de impacto socioeconómico provocado por desastres naturales en México para el periodo 2000-2015 basada en datos de CENAPRED, SAGARPA, FONDEN y CENACOM. Incluye el registro de fenómenos naturales sin declaratoria, considerados como desastre, contingencias climatológicas con declaratoria de emergencia y declaratoria de desastre. Además, proporciona datos de fecha, municipios afectados, tipo de fenómeno, defunciones, población y viviendas afectadas, escuelas, hospitales, áreas de cultivo y caminos afectados, total de daños económicos y fuente. Mientras que la base de datos BADESNARN está integrada por datos proporcionados por fuentes de datos oficiales de México como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Secretaría de Energía (SENER), la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) entre otras. Incluye datos de las declaratorias de desastre a nivel nacional y municipal, fecha y tipo de desastre.

Para el análisis generalizado por fuente se excluyeron los fenómenos geológicos como erupciones volcánicas y sismos y se incluyeron aquellos desastres que de acuerdo con la bibliografía consultada se relacionan con el cambio climático como sequías, lluvias severas, tormentas, olas de calor y frío, ciclones tropicales e inundaciones entre otros.

#### **4.2 Elección de fuente de datos**

Se eligió como fuente de datos principal el registro de declaratorias de desastres naturales del BADESNIARN (2024) debido a que el periodo de datos abarca los últimos 20 años, es decir del año 2003 al 2023. Además de que parte de fuentes oficiales, lo que garantiza cierta veracidad y confianza de los datos lo que permite el análisis general de la presencia de declaratorias de desastre en el país a nivel municipal, así como su distribución espacial.

Para el análisis de la gravedad e intensidad de los desastres naturales en México, se retomó la base de datos del CENAPRED (2017) la cual permite examinar la ocurrencia de desastres naturales con y sin declaratorias de desastre natural y de emergencia junto con el número decesos, personas y viviendas afectadas y el monto estimado de daños que estos generaron tanto de manera general como por tipo de desastre.

### **4.3 Estandarización de datos**

Para la estandarización de los datos, para ambas fuentes, se eliminó la información duplicada y aquella que no conservara referencia geográfica, se corrigieron errores ortográficos y se seleccionaron los desastres que de acuerdo con la bibliografía consultada se relacionan con el cambio climático, eliminando datos de fenómenos geológicos y químicos como sismos, erupciones volcánicas y fugas o derrames de sustancias químicas entre otros.

En el caso de la base de datos de CENAPRED, se agruparon las variables de tipo de fenómeno de deslizamiento y derrumbe como deslaves, mientras en el caso de BADESNARN se agruparon las inundaciones fluviales, pluviales, costeras, lacustres y las combinaciones de estas como inundaciones de manera general. La inestabilidad de laderas es recodificada como deslave debido a sus características.

Además, para la base de BADESNARN que contiene datos sobre el municipio de localización de cada declaratoria de desastre se agregaron los campos de Clave de Entidad y Clave Municipal, los cuales se conforman de códigos de dos y cinco dígitos respectivamente, y que hacen referencia a cada uno de los municipios de México de acuerdo con el INEGI (2016) y su Marco Geoestadístico Básico.

Para la comparación de la información otorgada por ambas fuentes de datos elegidas se procedió a homologar los años de ambas fuentes para el periodo 2003-2015, a su vez del catálogo de CENAPRED se eliminaron aquellos desastres que

tuvieran declaratoria de desastre para no duplicar la información y se le agregaron los casos de la base de datos BADESNARN.

El procesamiento de datos se realizó mediante programas como Microsoft Excel para la organización inicial, selección de variables y depuración de los datos pertinentes, el programa de análisis estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) y de análisis geográfico ArcGIS, para el posterior análisis de desastres naturales en México por municipio y tipo de desastres excluyendo aquellos casos que no tuvieran referencia geográfica.

#### **4.4 Cálculo del Índice de Vulnerabilidad Social al Cambio Climático (IVSCC).**

En una primera instancia, a partir de las evaluaciones del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (ANVCC), y sus resultados para el análisis de vulnerabilidades específicas relacionadas al clima a nivel nacional, se eligieron aquellas vulnerabilidades cuyo objeto vulnerable correspondía a la población y los asentamientos humanos. Estas son: la vulnerabilidad de asentamientos humanos a deslaves, inundaciones e incremento potencial de enfermedades transmitidas por vector como el dengue.

Dichas vulnerabilidades específicas al cambio climático fueron analizadas y espacializadas de manera individual. Para la construcción de Índice de Vulnerabilidad Social al Cambio Climático se procedió a la ponderación de los respectivos grados de vulnerabilidad elegidos y su suma aritmética de la siguiente manera:

$$IVSCC = GVDes + GVIn + GVDen$$

Donde:

*IVSCC* = Índice de vulnerabilidad social al cambio climático

*GVDes* = Grado de vulnerabilidad a deslaves

*GVIn* = Grado de vulnerabilidad a inundaciones

*GVDen* = Grado de vulnerabilidad al incremento potencial del dengue

#### 4.5 Correlación de IVSCC y sus variables con los criterios de vulnerabilidad específica de los territorios frente al cambio climático.

Por último, se retoma el trabajo de Novillo (2018), y los tres criterios generales que propone para identificar la vulnerabilidad específica de los territorios frente a los efectos del cambio climático los cuales se pueden observar en la figura 43.

Figura 43. Criterios para identificar la vulnerabilidad del territorio ante el cambio climático



Fuente: Elaboración propia a partir de Novillo, 2018: 133-135.

Dentro de este trabajo, la autora analiza cada uno de los anteriores criterios en las ciudades intermedias de ALC y lo relaciona con el Índice de Vulnerabilidad Climática (IVCC) previamente calculado por la CAF (2014). Sin embargo, para el presente estudio, se buscó la correlación existente o falta de esta de cada uno de los criterios seleccionados con respecto al Índice de Vulnerabilidad Social al Cambio Climático anteriormente calculado y cada uno de los índices independientes que lo componen en los municipios de México.

En el cuadro 9, se desglosan cada uno de los indicadores elegidos para el análisis de los criterios de vulnerabilidad del territorio ante el cambio climático de acuerdo con los datos disponibles en fuentes oficiales del país.

**Cuadro 9. Indicadores elegidos por criterio de vulnerabilidad territorial ante el cambio climático.**

Categoría	Criterio de vulnerabilidad territorial ante el cambio climático	Datos utilizados para su análisis
Tamaño del asentamiento	Ciudad Metrópoli Ciudad Capital Ciudad Intermedia Ciudad Provincial	<ul style="list-style-type: none"> <li>Datos de población total por municipios del Censo de Población 2020 (INEGI, 2020).</li> <li>Se retoma la clasificación de ciudades por tamaño de asentamiento utilizada por Novillo (2018).</li> </ul>
	Ciudades de montaña y zonas altas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se calculó la altitud media por municipio a partir de los datos por localidad del archivo histórico de localidades del INEGI (2024a).</li> <li>Clasificación de altura retomada del INEGI (2001).</li> </ul>
Distribución geográfica y situación ecosistémica	Ciudades ubicadas en cuencas hidrográficas	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se toma en cuenta esta variable debido a que los datos estadísticos y geoestadísticos no eran viables.</li> </ul>
	Ciudades costeras	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis de datos independiente de los 154 municipios costeros del país.</li> </ul>
	Ciudades del Caribe	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis de datos independiente de los 11 municipios del Caribe del país.</li> </ul>
Vulnerabilidad social	Ciudades con débil gobernabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Existencia o falta de Atlas de Riesgo Municipal (CENAPRD, 2024).</li> </ul>
	Uso y propiedad del suelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los datos de uso y propiedad de suelo encontrados no se adaptan al formato y periodo de tiempo de la investigación.</li> </ul>
	Infraestructura inadecuada	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tasa de camas hospitalarias por cada 1 mil habitantes (OCDE, 2020).</li> <li>Porcentaje de población con grado bajo o muy bajo de accesibilidad a carretera pavimentada por municipio (CONEVAL, 2021).</li> </ul>
	Ciudades con altos índices de pobreza y desigualdad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Índice de Marginación 2020 (CONAPO, 2020).</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

Para el criterio de tamaño de asentamiento se utilizaron los datos de la población total por municipios derivada del Censo de Población 2020 (INEGI, 2020) y se retomó la clasificación de Novillo (2018) de ciudades metrópoli, capitales, intermedias y provinciales con respecto al rango de habitantes por municipio. Esto bajo el supuesto de que, a mayor tamaño de asentamiento, mayor vulnerabilidad.

En cuanto a la distribución geográfica y la situación ecosistémica, derivado de los datos disponibles para su análisis estadístico y geoestadístico, se eligió considerar la altitud media por municipio para el estudio de la variable de ciudades de montaña

y zonas altas. Esta fue calculada a partir de los datos recopilados por localidad del archivo histórico de localidades del INEGI (2024a) con los softwares de Excel y SPSS. Para la clasificación de la altura, se retoma la propuesta por el INEGI (2001), en la cual existen 6 niveles de altura en el territorio nacional. Siendo que, de acuerdo con la autora, se consideran como más vulnerables las ciudades más altas y en ecosistemas de montaña (Novillo, 2018).

Así mismo se analizó la relación existente entre los 154 municipios costeros del país y los 11 municipios del Caribe con respecto al grado de cada una de las vulnerabilidades independientes, así como en el IVSCC calculado. En cuanto a la variable de ciudades ubicadas en cuencas hidrográficas, debido a que los datos encontrados no se adaptan a la división territorial municipal se decidió omitirla (INECC, 2018).

Para el criterio de vulnerabilidad social se mide la débil gobernabilidad con la existencia o falta de esta de Atlas de Riesgo Municipal (CENAPRED, 2024). Debido a que el resto de las leyes, planes y reglamentos para la adaptación y mitigación del cambio climático se encuentran dados a nivel estatal (INECC, 2020), no se pueden considerar como datos representativos para el presente estudio. Así mismo, los datos para uso y propiedad de suelo encontrados no se adaptan al formato ni periodo de tiempo de la investigación por lo que se decidió no tomarlos en cuenta.

Para la infraestructura inadecuada se consideran dos variables, la primera es la tasa de camas hospitalarias por cada 1 mil habitantes (OCDE, 2020), en la cual las camas censables hospitalarias representan la cantidad de recursos disponibles para los pacientes hospitalizados, que abarcan las unidades de cuidados agudos y crónicos de larga duración tanto de sector público como privado. Estos datos fueron encontrados para las camas en hospitales públicos por municipio para el año 2023 en la Dirección General de Información en Salud (2024), mientras que los datos de las camas censables de hospitales privados por municipio para el año 2023 fueron obtenidos del INEGI (2024b). Dichos datos fueron procesados en Excel y

posteriormente en SPSS. Y en ambos casos se excluyeron los hospitales psiquiátricos y sus recursos. Esta variable es propuesta para el presente trabajo debido a la relación existente entre el cambio climático y el aumento de en este caso, inundaciones, deslaves y contagios por dengue. Por lo que, se considera que, a mayor número de camas censables, mayor será la posibilidad de tratamiento médico para la población vulnerable.

La segunda variable elegida para la infraestructura inadecuada es el porcentaje de población con grado bajo o muy bajo de accesibilidad a carretera pavimentada por municipio, el cual es un índice calculado por el CONEVAL (2021). Este, toma en cuenta la distancia desde las localidades hasta las carreteras pavimentadas, disponibilidad de transporte público y tiempo promedio de traslado desde las localidades hacia los centros de servicios. Esta variable fue propuesta para su análisis debido a que a mayor grado de accesibilidad a carretera pavimentada existiría una menor vulnerabilidad de la población debido a una condición de aislamiento menor, mejor conectividad y por ende la posibilidad de generar evacuaciones eficientes, así como la distribución de recursos en caso de emergencias.

Finalmente, para medir las ciudades con altos niveles de pobreza y desigualdad se optó por utilizar el Índice de Marginación 2020 (CONAPO, 2020). El cual toma en cuenta diferentes variables como el porcentaje de personas de 15 años o más analfabeta y sin estudios de educación básica; porcentaje de viviendas sin drenaje ni excusado; porcentaje de viviendas sin energía eléctrica ni agua entubada o con piso de tierra; porcentaje de viviendas con hacinamiento; porcentaje de población en localidades menores a 5 mil habitantes; y porcentaje de población con ingresos menores a dos salarios mínimos. Esto bajo la premisa de que, a mayor índice de marginación y condiciones previas de vulnerabilidad, mayor vulnerabilidad al cambio climático.

## Capítulo 5. Resultados y discusión

### 5.1 Desastres naturales en México

Como ya se mencionó, en una primera instancia se analizaron los resultados de diversas bases de datos en los cuales se recaban el número de desastres naturales relacionados al cambio climático que se han presentado en México a partir del año 1970 y hasta 2023. De acuerdo con Desinventar (2020), en el periodo de 1970 a 2013 se presentaron en el país 34 mil 813 desastres naturales; CENAPRED (2017) registró para los años 2000-2015 un total de 2 mil 612 desastres; EM-DAT (2024) solo enlistó de 1970-2023 un total de 227 desastres naturales y BADESNIARN (2024) de 2003-2023 contabilizó 6 mil 829 desastres. En cuanto al tipo de fenómenos que desencadenaron dichos desastres, el cuadro 10 muestra que según Desinventar, la mayor proporción de desastres fue causada por inundaciones, para CENAPRED y BADESNIARN fueron las lluvias severas y para EM-DAT fueron los ciclones tropicales.

**Cuadro 10. Número de desastres naturales relacionados al cambio climático en México por fuente y periodo de tiempo**

Tipo de fenómeno / Fuente y periodo	Desinventar 1970-2013	CENAPRED 2000-2015	EM-DAT 1970-2023	BADESNIARN 2003-2023
Aluvión	36	48		
Avalancha	386			
Línea de costa	9	10		
Sequía	3,971	145	7	514
Epidemia	2,553	8	3	
Inundación	8,105	126	75	696
Incendio forestal	1,989		4	78
Helada	2,415			15
Granizo	595	199		16
Hambruna	44			
Ola de calor	854		1	
Hundimiento/Agrietamiento	176	19		1
Deslave	1,814	115	10	314
Onda fría	1,215	221	14	
Plagas	951			15
Contaminación	1,387	1		

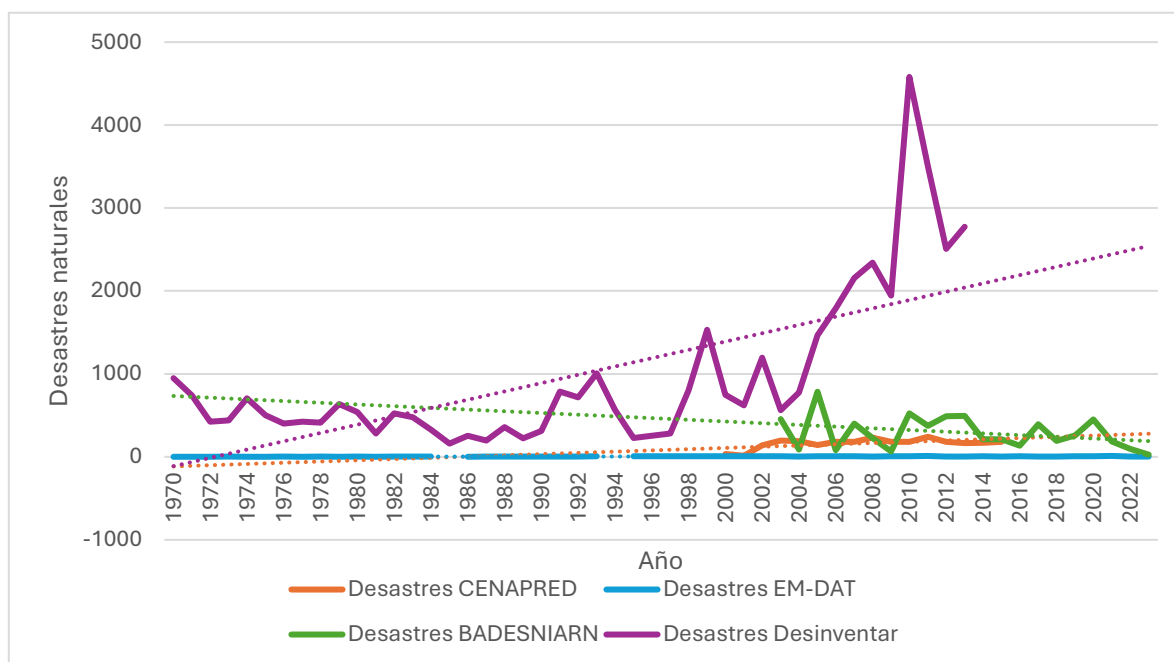
**Continuación cuadro 10**

Lluvias severas	3,590	1,404	7	3,151
Tormenta de nieve	1,328			
Tormenta	1,928	62		
Vientos fuertes	1,373	87		41
Tornado	16		1	3
Tsunami	78			
Ciclones tropicales	167	105		1,855
<b>TOTAL</b>	<b>34,813</b>	<b>2,612</b>	<b>227</b>	<b>6,829</b>

Fuente: Elaboración propia con base en Desinventar, 2020; CENAPRED, 2017; EM-DAT, 2024 y BADESNIARN, 2024.

En cuanto a la distribución a lo largo del tiempo, en la Figura 44 se observa que de acuerdo con Desinventar (2020), el año 2010 fue el que registró el mayor número de desastres naturales en México, con 4580 eventos, en el caso de CENAPRED (2017), el año con mayor número de desastres fue el 2011 con 242 desastres, para EM-DAT (2024) también fue el año 2011 con 11 desastres y para BADESNIARN (2024) fue el 2005 con 785 desastres.

**Figura 44. Desastres relacionados al cambio climático por año y fuente en México**



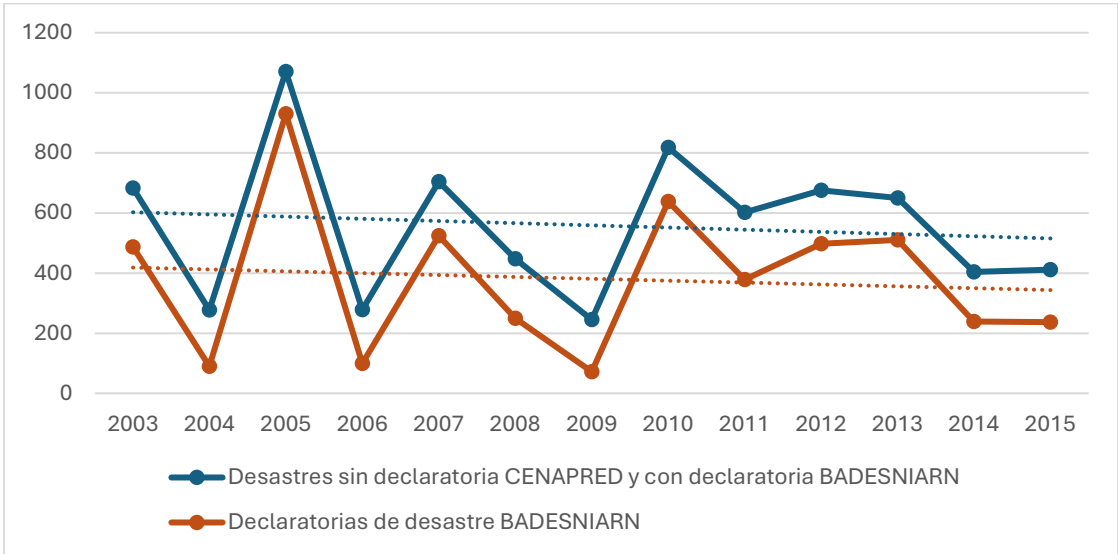
Fuente: Elaboración propia con base en Desinventar, 2020; CENAPRED, 2017; EM-DAT, 2024 y BADESNIARN, 2024

También en la Figura 45, se puede distinguir una variación en las líneas de tendencia en los desastres por año para el país dependiendo de la fuente de los datos, siendo los datos de Desinventar y los de CENAPRED, los que tienen una tendencia al alza, BADESNIARN tiene una tendencia a la baja y EM-DAT conserva prácticamente una tendencia imparcial.

Sin embargo, resalta la diferencia en la línea de tendencia de los datos de desastres de CENAPRED y la de BADESNIARN, ambas fuentes oficiales del gobierno de México, siendo una positiva en la primera y negativa en la segunda, por tanto, se decidió homologar los años de ambas bases de datos y además, en el caso de CENAPRED, se tomaron en cuenta únicamente los datos de desastres y emergencias sin declaratoria de desastre y se le sumaron los desastres respectivos para los años homologados registrados en BADESNIARN, en este caso del 2003-2015.

Como se puede observar en la Figura 45, a partir de la homologación de los datos de desastres de CENAPRED y de BADESNIARN las tendencias van ligeramente a la baja en ambos casos, lo que confirma la veracidad y confianza de ambas fuentes.

**Figura 45. Homologación de datos de desastres relacionados al cambio climático en México 2003-2023**



Fuente: Elaboración propia con base en CENAPRED, 2017y BADESNIARN, 2024

Debido a la gran disparidad entre los datos otorgados por cada una de las bases de datos consultadas, y a la comprobación mediante la homologación de los datos otorgados por CENAPRED y BADESNIARN, se decidió que para el presente estudio, la base de datos principal más apropiada es la de BADESNIARN (2024), debido a que el periodo de tiempo de sus datos es más prolongada y actualizada y está integrada por datos proporcionados por fuentes de datos oficiales de México como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Secretaría de Energía (SENER), la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) entre otras. Retomando de esta fuente los datos sobre declaratoria de desastre, año, tipo de fenómeno y localización geográfica.

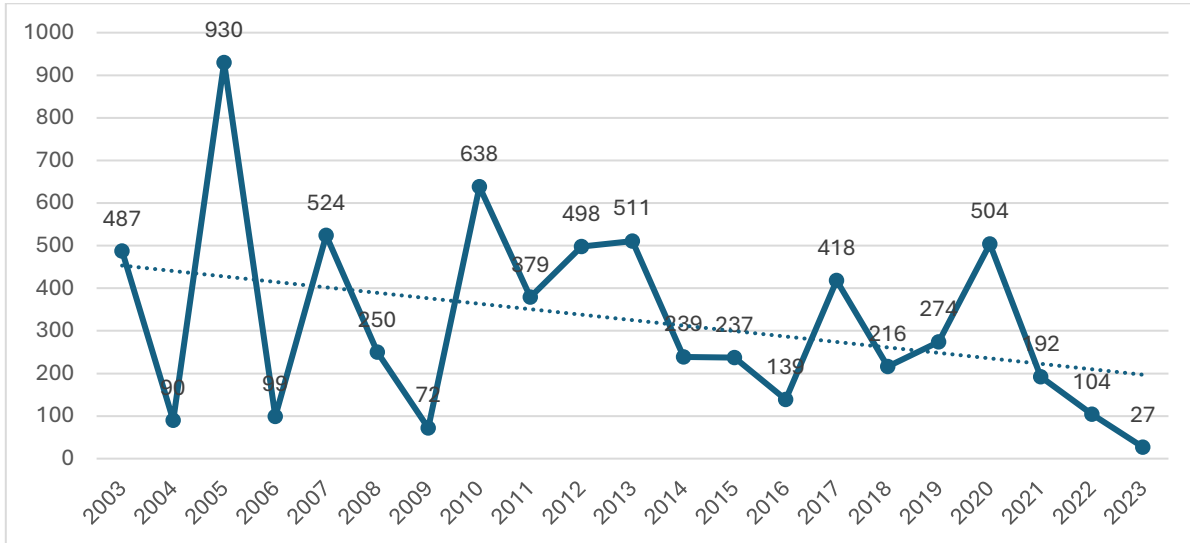
Como base de datos secundaria se retoma a CENAPRED (2017), cuyos datos otorgados permiten medir la intensidad de los desastres ocurridos en el territorio nacional, no solo de aquellos que cuentan con una declaratoria de desastre, sino también aquellos considerados como emergencia, contingencia ambiental o sin ninguna declaratoria. De esta base se retoman los datos de año, tipo de desastres, número de personas y viviendas afectadas, decesos y monto de daños totales.

En este sentido, de acuerdo con BADESNIARN (2024), en México se presentaron un total de 6 mil 829 declaratorias de desastres naturales para el periodo 2003-2023 como se puede observar en la Figura 46, siendo el año 2005 con 930 declaratorias, el año con mayor número de desastres seguido por el año 2010 con 638 y el año 2020 con 504 respectivamente. La tendencia de la frecuencia total de desastres en México va a la baja, lo que concuerda el planteamiento de que el cambio climático podría generar un menor número y frecuencia de desastres naturales, pero estos podrían ser de mayor intensidad. Postura que este trabajo busca comprobar o refutar más adelante.

En total, las lluvias severas representaron 46.1% de los desastres, seguidas por los ciclones tropicales con 29.3%, inundaciones (10.2%), sequías (7.5%), deslaves

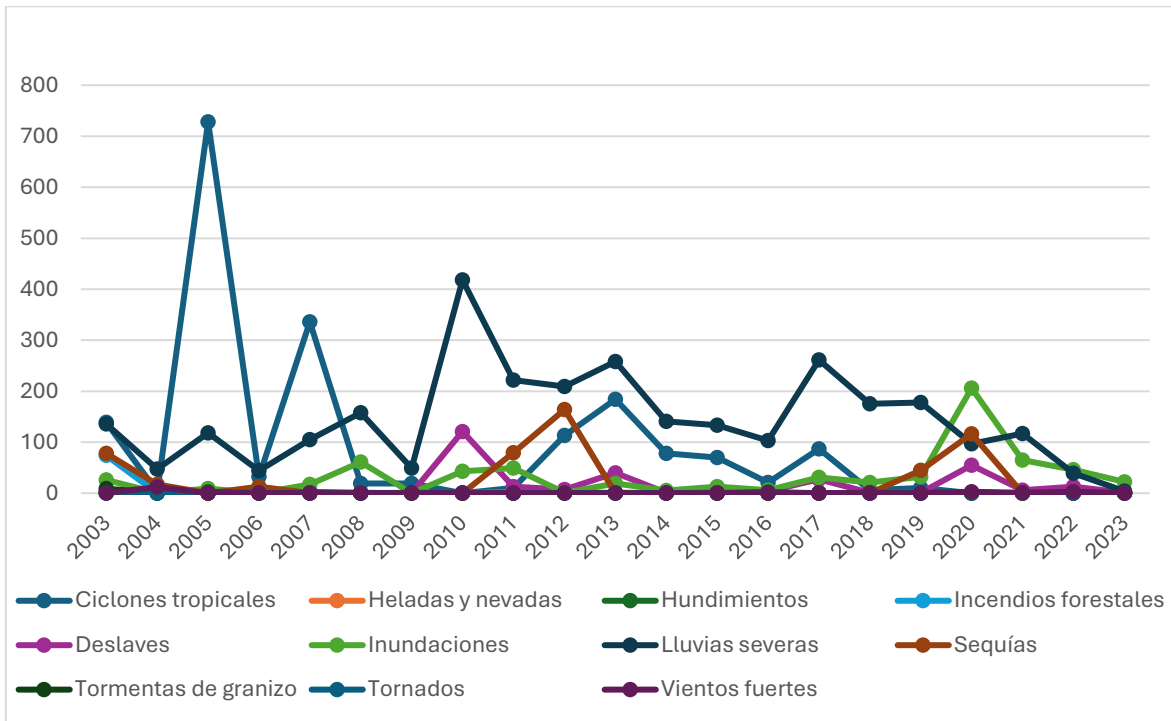
(4.6%) e incendios forestales (1.1%) entre otros. Esto se puede apreciar, así como su distribución temporal en la Figura 47.

**Figura 46. Desastres relacionados al cambio climático ocurridos en México 2003-2023**



Fuente: Elaboración propia con base en BADESNIARN, 2024.

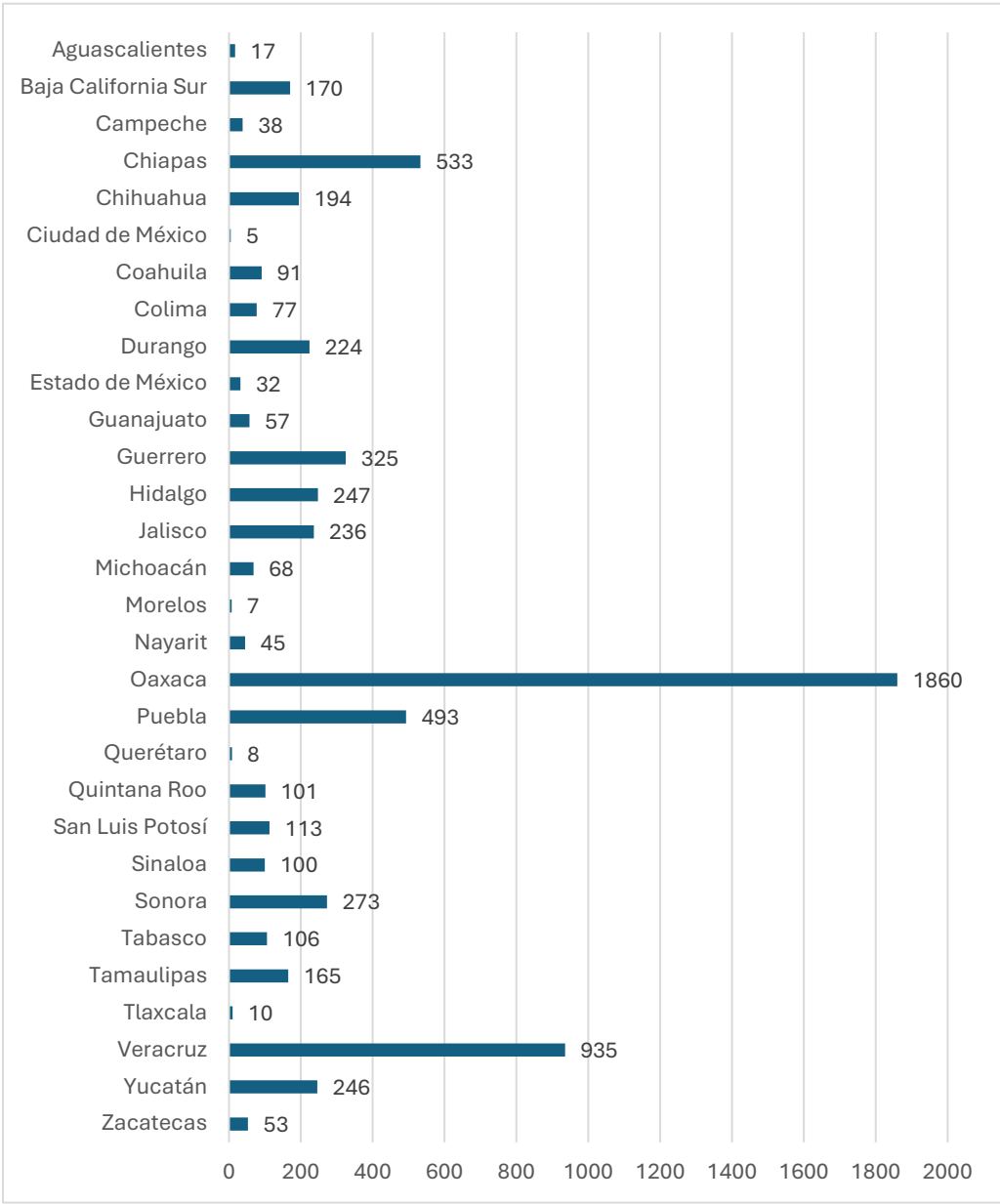
**Figura 47. Desastres relacionados al cambio climático por tipo en México 2003-2023**



Fuente: Elaboración propia con base en BADESNIARN, 2024.

En lo que respecta a su ubicación espacial, la Figura 48 muestra la distribución espacial de dichos desastres en el periodo de estudio, se logró discernir que el estado con mayor presencia de desastres naturales es Oaxaca, seguido por Veracruz, Chiapas y Puebla.

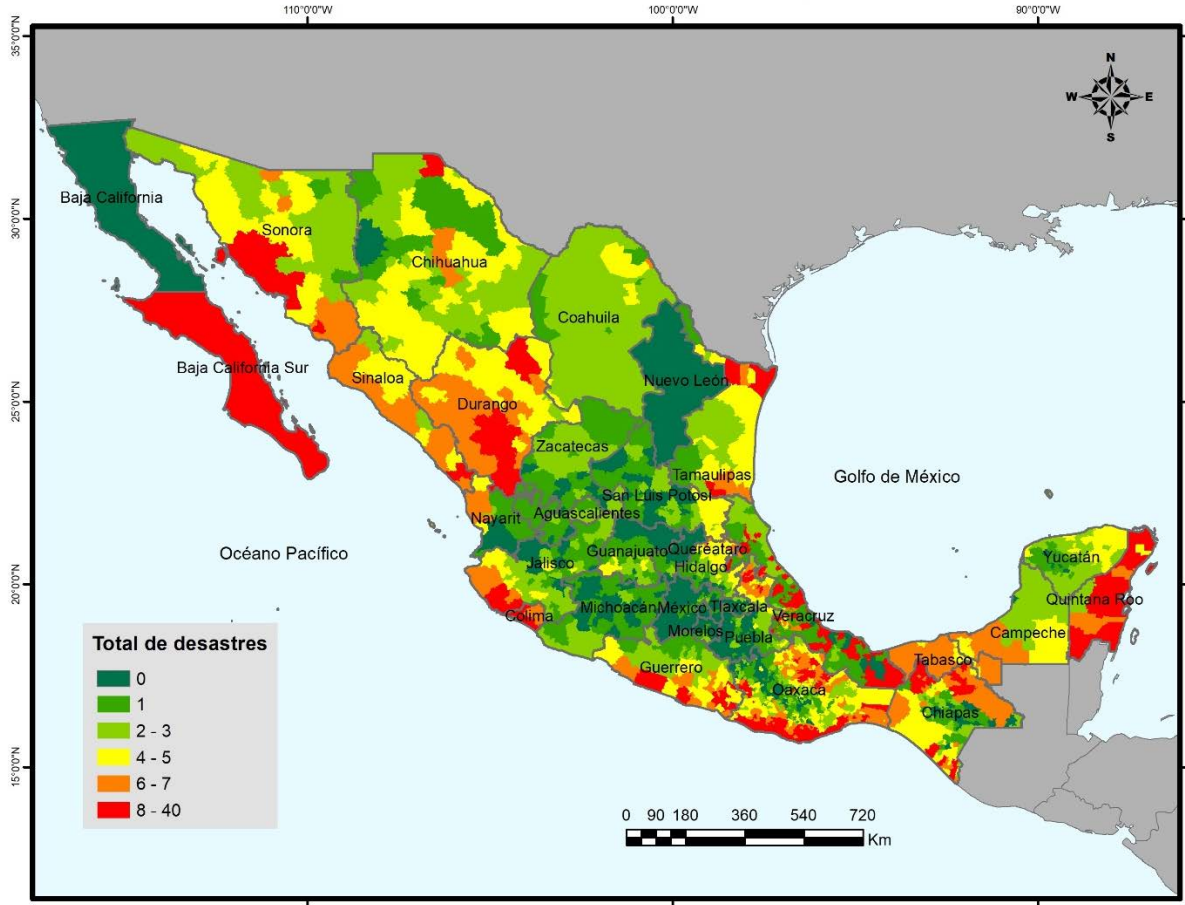
**Figura 48. Desastres naturales relacionados al cambio climático en México por entidad federativa 2003-2023**



Fuente: Elaboración propia con base en BADESNIARN, 2024.

Además, en el Mapa 8, se aprecia la distribución de los desastres naturales en México por municipios en el periodo de estudio, donde en color rojo se muestran los municipios que a lo largo de 20 años han presentado de ocho a 40 desastres y por tanto son espacios en los que se deben concentrar las políticas y acciones tanto preventivas y de mitigación como de adaptación y resiliencia. En color naranja están los municipios que se han enfrentado seis o siete desastres y en amarillo de cuatro a cinco, estos municipios son importantes debido a que es de suponerse que el cambio climático incrementa el número de desastres naturales en el tiempo.

**Mapa 8. Desastres naturales relacionados al cambio climático en México por municipio, 2003-2023**

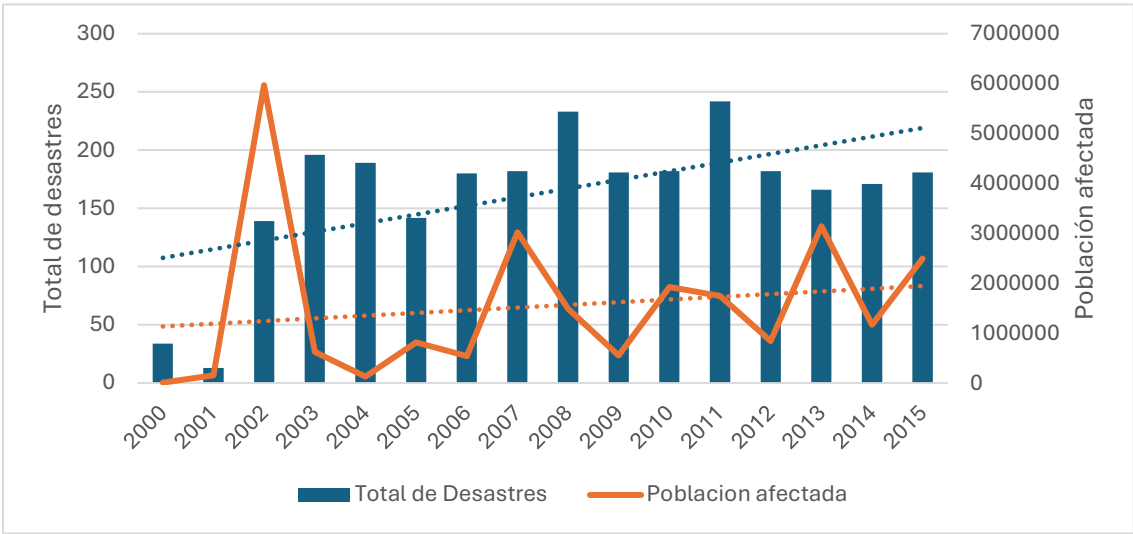


Fuente: Elaboración propia con base en BADESNIARN, 2024.

Los cinco municipios con mayor número de desastres en el país se encuentran en el estado de Baja California Sur, estos son La Paz, Comondú, Loreto, Los Cabos y Mulegé, con alrededor de 28 a 40 declaratorias de desastres. Los siguientes cinco municipios pertenecen al estado de Veracruz, entre los cuales se encuentran Las Choapas, Cosoleacaque, Uxpanapa, Hidalgotitlán y Hueyapan de Ocampo con un total de 15 a 25 desastres en el periodo de estudio.

A continuación, para la medición de la intensidad de los desastres naturales, se analizan los daños producidos por estos, sin embargo, esta información únicamente se encuentra disponible para el periodo 2000-2015. Por tanto, en la Figura 49 se muestran la población afectada versus el total de desastres para dicho periodo, donde resalta que, tanto la frecuencia de los desastres naturales como la población afectada tiene una tendencia al alza. Llegando a ser de hasta 5 millones 969 mil 184 personas afectadas por 139 desastres para el año 2002. Año en el que a pesar de registrarse un número sustancialmente menor de desastres comparado con los años 2008 y 2011, se presentaron más de siete veces el número de personas afectadas que en estos.

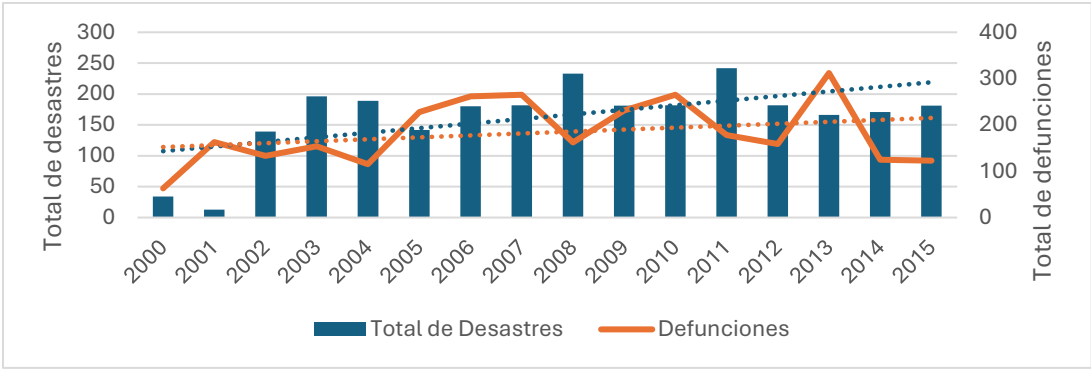
**Figura 49. Tendencia de total de desastres relacionados al cambio climático y población afectada en México, 2000-2015**



Fuente: Elaboración propia con base a CENAPRED, 2017.

Además, en la Figura 50, se puede comparar la tendencia del total de desastres presentados en el territorio nacional con el número de defunciones que éstos provocaron, ambos con una tendencia al alza, sin embargo, resalta el año 2013, el cual tuvo 312 decesos provocados por 166 desastres, lo que confirma que tanto este año como el periodo 2005-2007 y 2009-2010, presentaron un menor número de desastres naturales pero con una cifra mayor de defunciones, por lo que es de suponerse que dichos fenómenos fueron de una intensidad mayor.

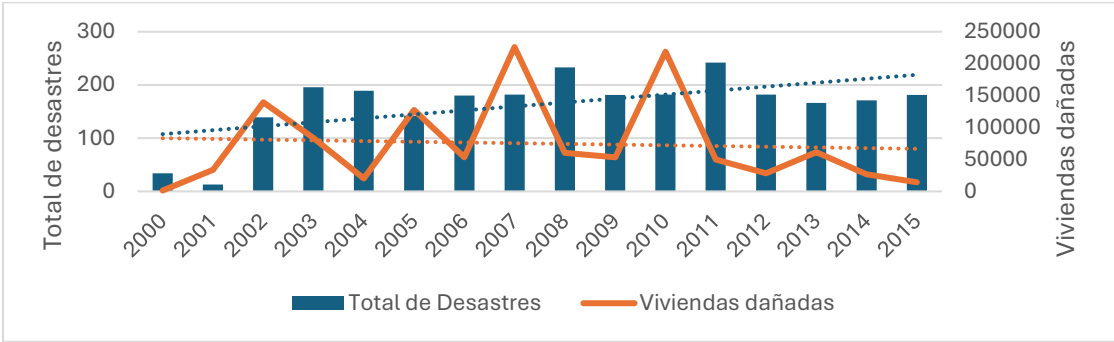
**Figura 50. Desastres naturales relacionados al cambio climático y defunciones en México, 2000-2015.**



Fuente: Elaboración propia con base a CENAPRED, 2017.

En contraparte se puede observar en la Figura 51 que la cantidad de viviendas afectadas por desastres naturales en México para el periodo 2000-2015 ha disminuido al igual que su línea de tendencia. Siendo esta disminución más drástica a partir del año 2012 hasta el año 2015.

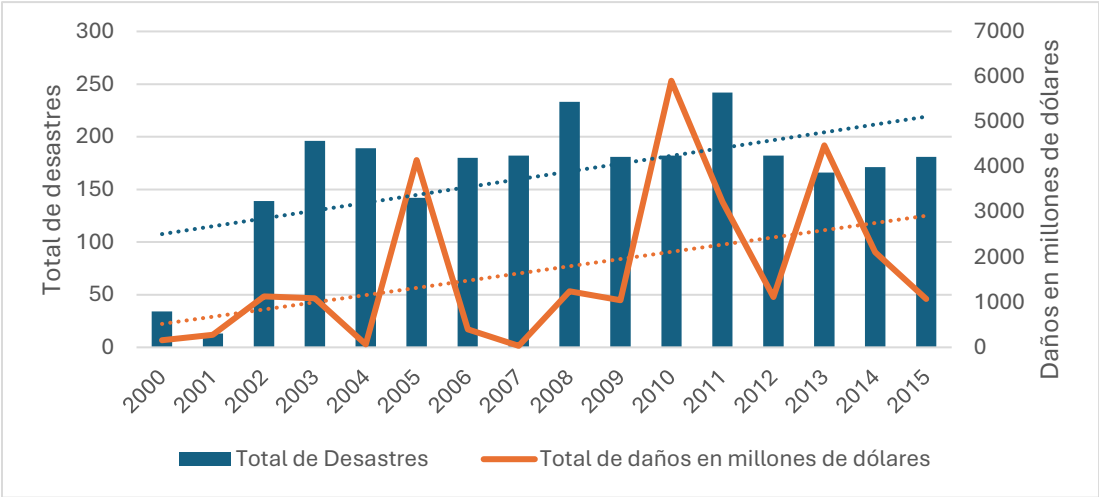
**Figura 51. Desastres naturales relacionados al cambio climático y viviendas dañadas en México, 2000-2015**



Fuente: Elaboración propia con base a CENAPRED, 2017.

Además, en la Figura 52 se compara el total de desastres en el territorio nacional con el total de daños provocados por estos en millones de dólares, ambos con tendencias al alza para el periodo de los datos existentes. Destacan los años 2005 con 142 desastres y pérdidas por 4 mil 149 millones de dólares, el año 2010 con 182 desastres y daños por 5 mil 907 millones de dólares y el año 2013 con 116 desastres y 4 mil 474 millones de dólares en pérdidas.

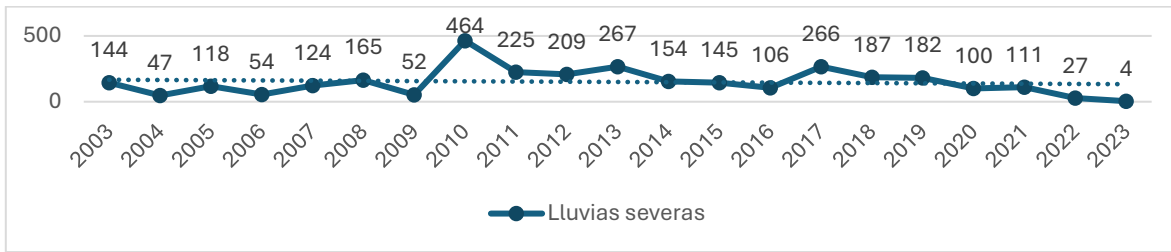
**Figura 52. Desastres naturales relacionados al cambio climático y total de daños en millones de dólares en México, 2000-2015**



Fuente: Elaboración propia con base a CENAPRED, 2017.

Para el análisis particular por tipo de desastre en el país, se encuentra que las lluvias severas representan el mayor número de desastres en México con 3 mil 151 declaratorias oficiales, siendo el año 2010 el que presentó un mayor pico con 464 desastres, seguido del año 2013 con 267 y 2017 con 266 como se puede observar en la Figura 53. Además, en el Mapa 9, se puede apreciar la distribución espacial por municipio de este fenómeno, donde los 14 municipios con mayor número de desastres por lluvias severas se localizan en el estado de Veracruz con un total de nueve a 14 declaratorias de desastres, siendo Las Choapas el más afectado. Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Durango también son sede de municipios afectados en el periodo de estudio.

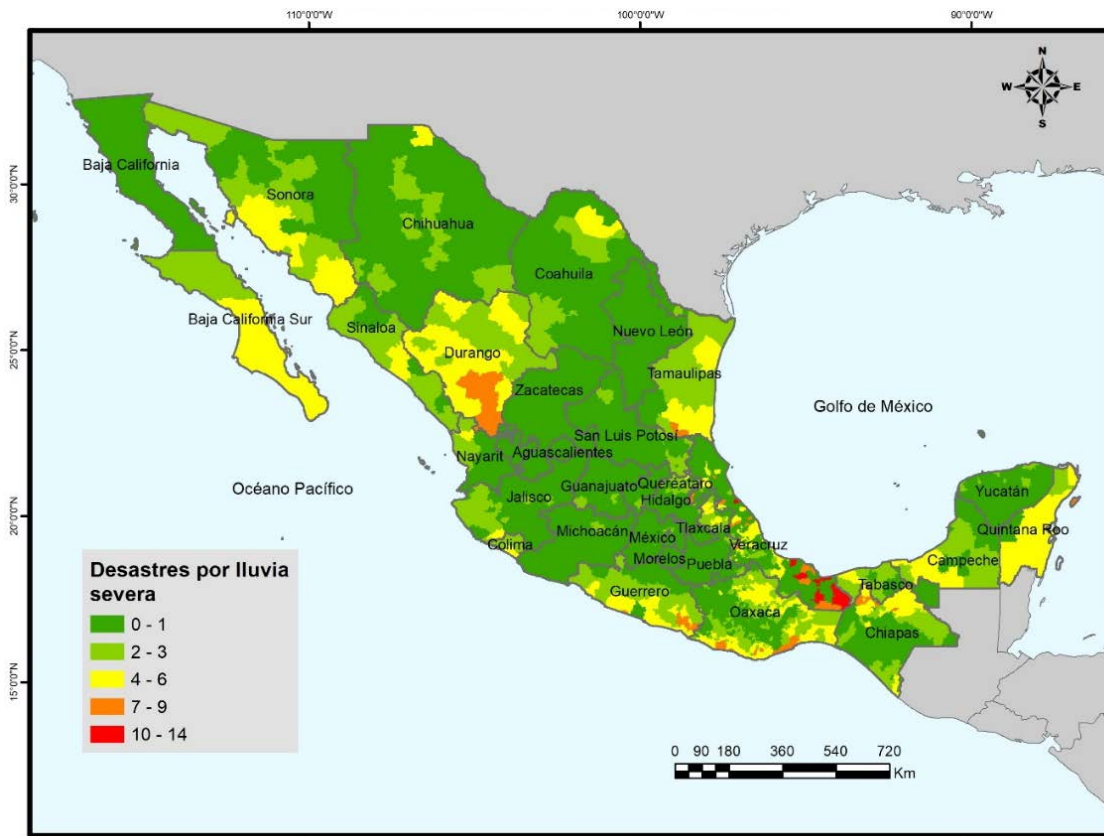
**Figura 53. Desastres por lluvias severas en México, 2003-2023**



Fuente: Elaboración propia con base en BADESNIARN, 2024.

Además, se observa que este fenómeno se encuentra concentrado en zonas específicas del país, siendo el centro del territorio nacional el menos afectado.

**Mapa 9. Desastres por lluvias severas por municipio en México, 2003-2023**

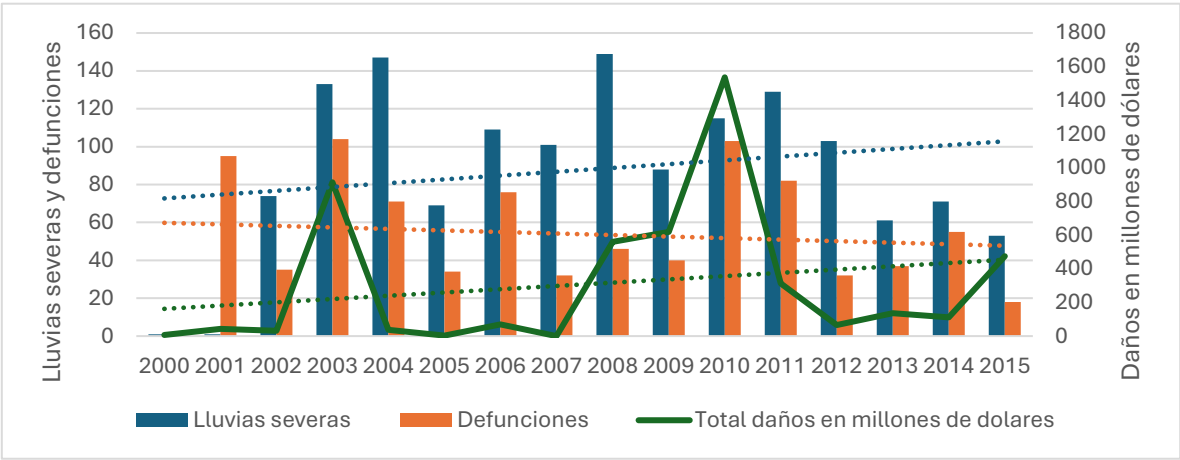


Fuente: Elaboración propia con base en BADESNIARN, 2024.

En lo que respecta a la intensidad de este tipo de fenómeno, la Figura 54 muestra el número total de desastres por lluvias severas en comparación con el número de defunciones y total de daños que estas provocaron en millones de dólares, teniendo

la frecuencia y el total de daños una clara tendencia al alza, mientras que las defunciones van a la baja. Por número de desastres resaltan los años 2003,2004 y 2008 con un total de 133 a 149 desastres por lluvias severas. Los 2003 y 2010 coinciden con la mayor cantidad de daños en millones de dólares con 914 y 1 mil 537 respectivamente, mientras que la cantidad de defunciones a variado significativamente, sin embargo, en este rubro resalta el año 2001, en el cual solo se registró un desastre por lluvias severas, sin embargo, se registraron 95 decesos, lo que implicaría que para ese año a pesar de ser un año atípicamente sin un gran número de desastres, este fue significativamente severo.

**Figura 54. Total de desastres por lluvias severas, defunciones y daños en millones de dólares en México, 2000-2015**



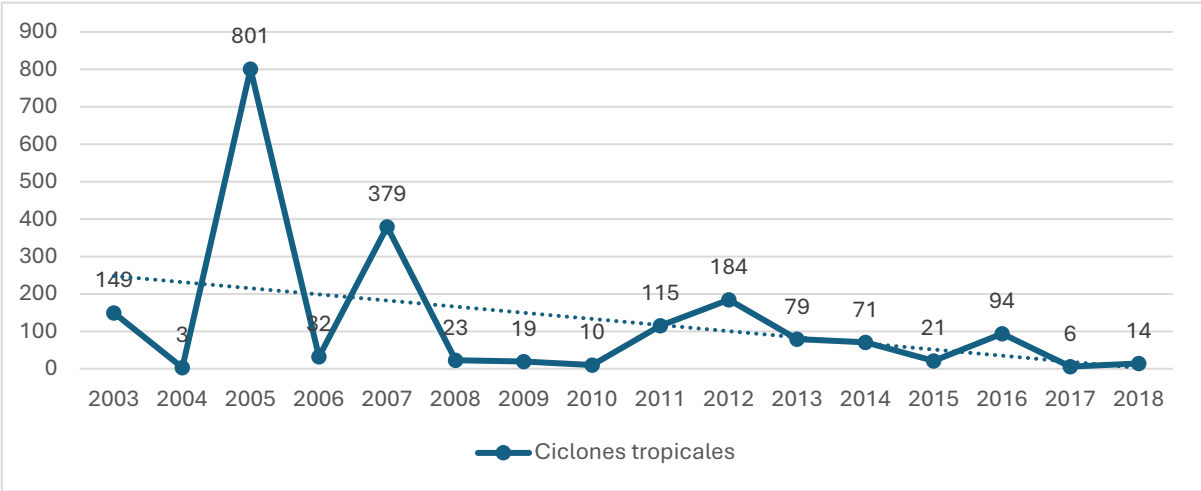
Elaboración propia con base en CENAPRED, 2017.

Al analizar tanto la población afectada como las viviendas dañadas se encontró que la tendencia de la población afectada va a la baja, mientras que la tendencia de viviendas dañadas se mantiene prácticamente horizontal.

Esto implica que las lluvias severas están aumentando de manera poco significativa su frecuencia, mientras que su intensidad no sigue un patrón específico basado en el descenso de las defunciones, y la población afectada, el mantenimiento de las cifras de viviendas afectadas por el aumento de los daños en millones de dólares totales.

Por otra parte, el segundo tipo de desastre con mayor presencia en el país corresponde a los ciclones tropicales, con 2 mil declaratorias oficiales para el periodo 2003-2023. La figura 55, muestra como en el año 2005 se presentó un gran pico en la presencia de este tipo de desastres con 801 incidentes, seguido por otros picos significativos en el año 2007 con 379 desastres y en 2012 con 184 respectivamente. Además, se puede apreciar que este tipo de desastres en particular tiene una tendencia a la baja, lo que respalda la teoría de que el cambio climático pudiera disminuir el número y frecuencia de este tipo de fenómenos, sin embargo, incrementa su gravedad. Tal es el caso del huracán categoría 5 Otis en el año 2023, que azotó de manera particular y grave al estado de Guerrero, que propició daños por 1 mil 940 millones de dólares y oficialmente 50 fallecimientos (Constantino, 2024).

**Figura 55. Desastres por ciclones tropicales en México por año, 2003-2018**



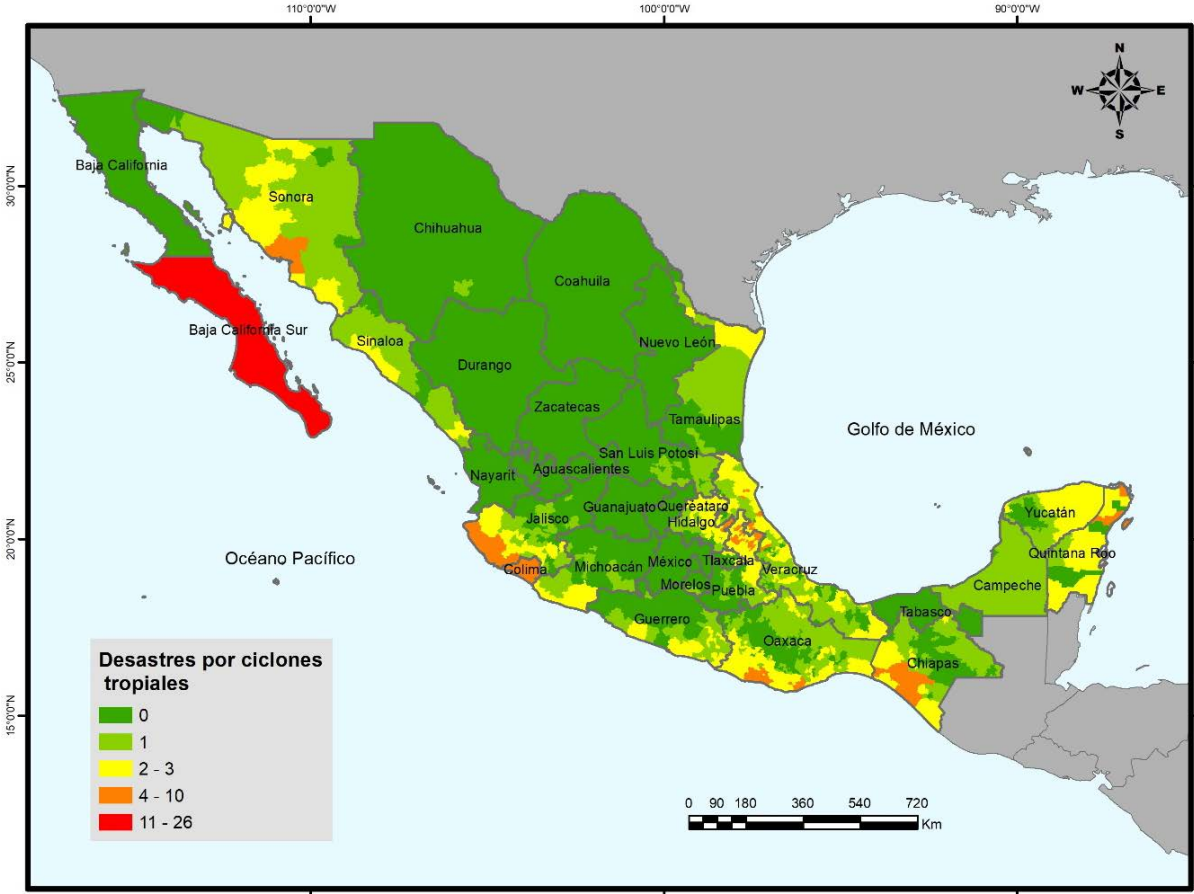
Fuente: Elaboración propia con base en BADESNIARN, 2024

En el Mapa 10 se muestra la distribución geográfica de este tipo de desastres por municipio en el periodo de estudio determinado. El estado de Baja California Sur alberga los cinco municipios con mayor número de desastres por ciclones tropicales en el país, siendo estos Comondú, Loreto, La Paz, Mulegé y Los Cabos con 18 a

26 desastres de 2003-2023, sin embargo, en los registros obtenidos del BADESNIARN, no hay desastres reportados a partir del año 2018.

Los otros municipios más afectados por este tipo de desastres son Manzanillo, Colima con siete desastres, y Cihuatlán, Cuautitlán de García Barragán, La Huerta y Cazones de Herrera con cinco desastres cada uno. Los primeros tres municipios pertenecen a Jalisco y el último corresponde a Veracruz.

**Mapa 10. Desastres por ciclones tropicales por municipio en México, 2003-2023**

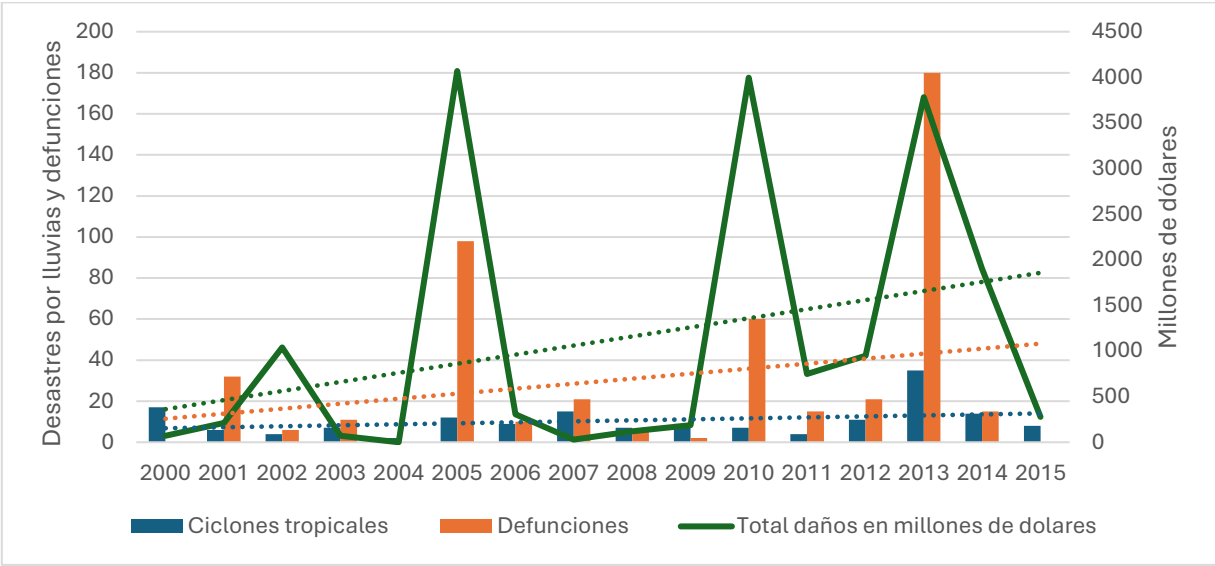


Fuente: Elaboración propia con base en BADESNIARN, 2024

Para corroborar la teoría del aumento de la intensidad de este tipo de desastres, la Figura 56 muestra el número total de desastres por ciclones tropicales en comparación con el número de defunciones y el total de daños que estas provocaron en millones de dólares, teniendo las tres variables una clara tendencia al alza, más

pronunciada en los daños y en las defunciones. También resaltan los años 2005, 2010 y 2013 con 12, 7 y 35 desastres, respectivamente, y con altos picos en defunciones y daños, siendo 180 defunciones para el 2013 y 4 mil 69 millones de dólares en daños en el año 2005, las cifras más altas registradas.

**Figura 56. Total de desastres por ciclones tropicales, defunciones y daños en millones de dólares en México, 2000-2015**



Elaboración propia con base en CENAPRED, 2017.

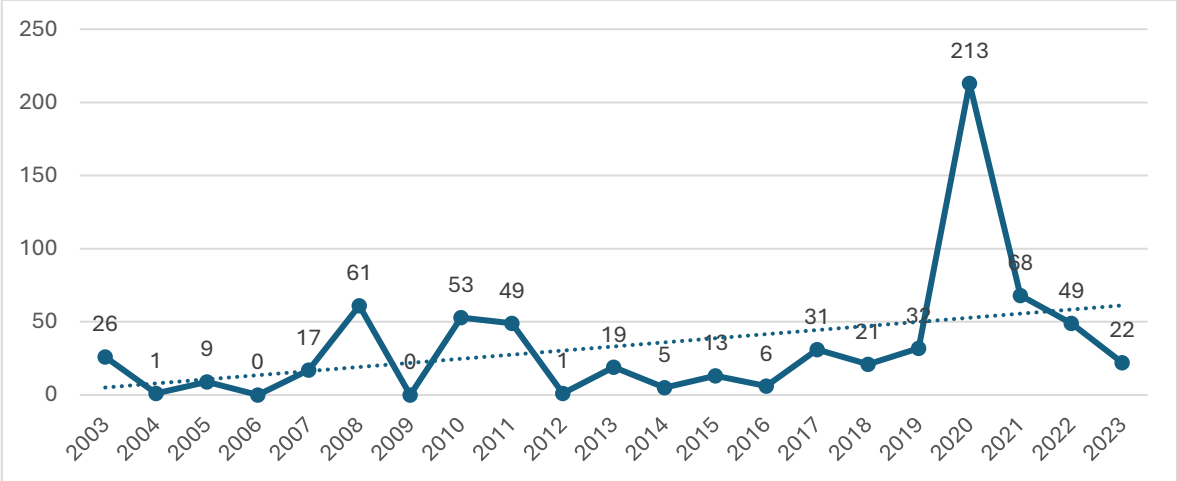
Al analizar tanto la población afectada como las viviendas dañadas se encontró que la tendencia de la población afectada va al alza con picos en los años 2002, 2010 y 2013 siendo este último con 2 millones 312 mil 265 el más alto. En cuanto a las viviendas dañadas, estas tienen una tendencia a la baja, pero con picos muy similares en los años 2002, 2005 y 2010 que rondan las 120 mil viviendas dañadas.

Esto implica, que los ciclones tropicales para el periodo 2000-2015 aumentaron de manera poco significativa su frecuencia, pero su intensidad basada en el aumento en la tendencia de defunciones, daños en millones de dólares y población afectada si se incrementó en mayor medida y significancia.

En cuanto a las inundaciones, como se puede observar en la figura 57, entre 2003 y 2023 se registraron 698 desastres por este tipo de fenómeno en el territorio

nacional con una ligera tendencia positiva, de las cuales 65% corresponden a inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres, 18% a inundaciones fluviales y 15% a inundaciones pluviales. Se muestra su distribución temporal, siendo el año 2020 el que tiene una mayor presencia de este tipo de desastre y ligeros picos en el 2008, 2010 y 2011, con una tendencia al alza en el periodo de estudio.

**Figura 57. Desastres por inundaciones en México 2003-2023**

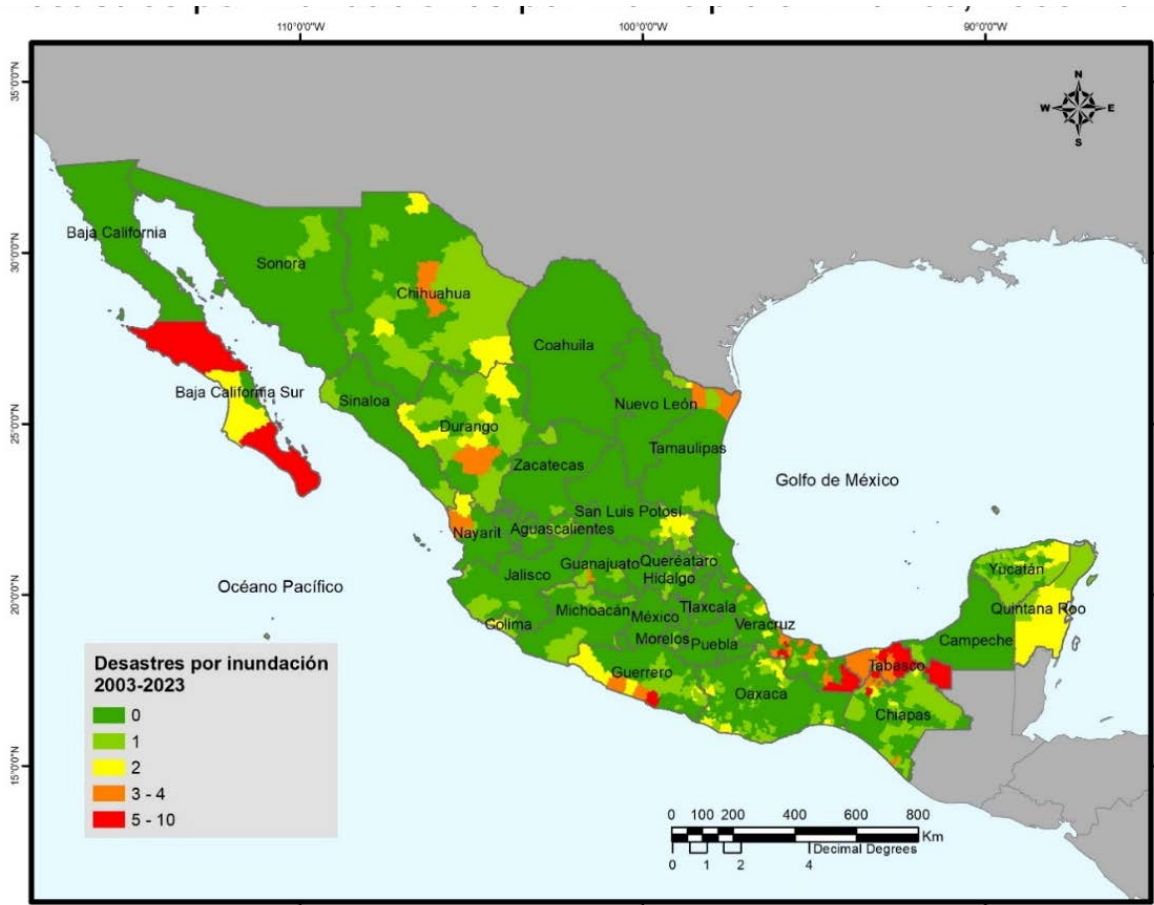


Fuente: Elaboración propia con base en BADESNIARN, 2024.

Mientras tanto, el Mapa 11 muestra su distribución espacial por municipio en el periodo de estudio. La Paz, Baja California Sur, es el municipio con mayor número de desastres por inundaciones (10) en el país para el periodo 2003-2023 seguido por Mulegé y Los Cabos, pertenecientes a la misma entidad, Tecpatán, Chiapas, Balancán, Tabasco y Chacaltianguis y las Choapas, Veracruz con seis desastres cada uno.

Se puede observar que Baja California Sur, Tabasco, Veracruz y Guerrero los estados con más municipios afectados por desastres por inundaciones, así como algunos municipios de Chihuahua, Nayarit y Tamaulipas.

**Mapa 11. Desastres por inundaciones por municipio en México 2003-2023**



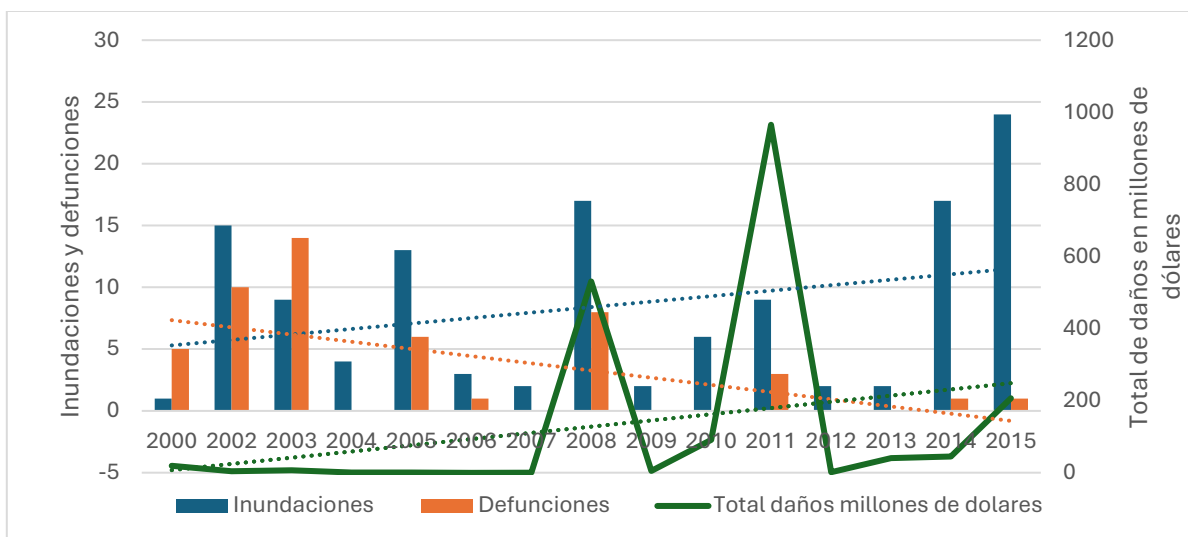
Fuente: Elaboración propia con base en BADESNIARN, 2024.

En cuanto a los daños provocados por este tipo de desastres en la figura 58 se puede interpretar que la tendencia de las defunciones va de manera significativa a la baja, siendo el máximo 14 fallecidos en el año 2003. Mientras que el total de daños va al alza, siendo el año 2011 y 2008 con 965 y 530 millones de dólares respectivamente.

También en la figura 59 se aprecia que la tendencia de la población afectada va ligeramente al alza con picos en los años 2008, 2011 y 2015 con 59 mil 440, 401 mil 536 y 182 mil 960 personas afectadas. Por tanto, debido a que los daños económicos y el número de personas afectadas aumentaron, las defunciones disminuyeron y el número de viviendas dañadas se han mantenidos con una

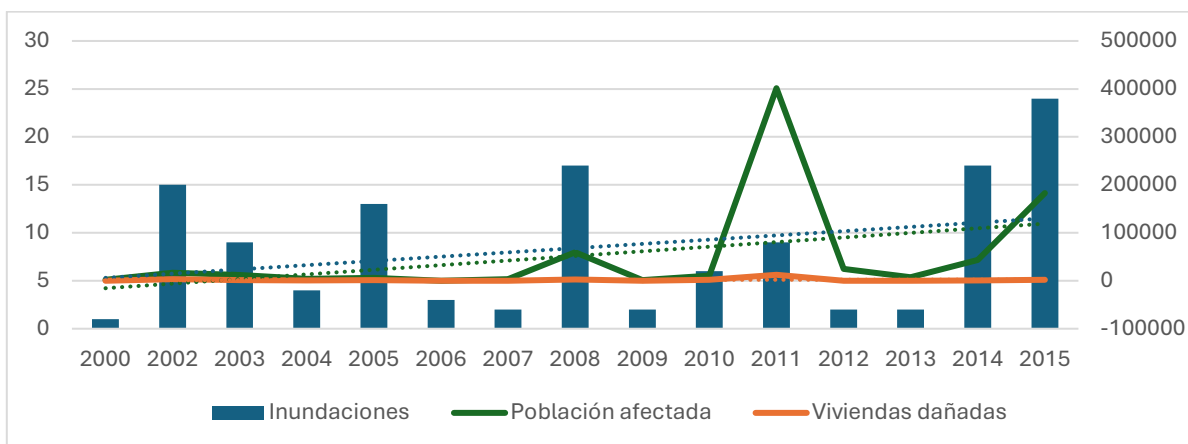
tendencia horizontal, se puede deducir que la intensidad de las inundaciones se está incrementando.

**Figura 58. Desastres por inundaciones, defunciones y total de daños en millones de dólares, México 2000-2015**



Fuente: Elaboración propia con base en CENAPRED, 2017.

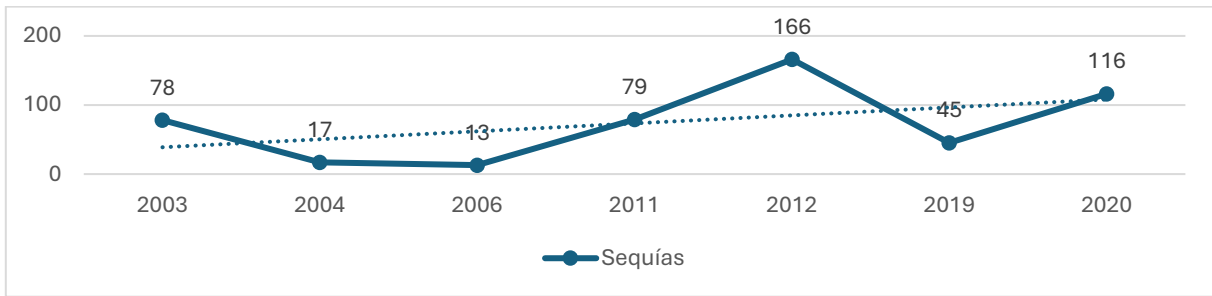
**Figura 59. Desastres por inundaciones, población afectada y viviendas dañadas, México 2000-2015**



Fuente: Elaboración propia con base en CENAPRED, 2017.

En contra parte, a partir del año 2003 se registraron en México 514 desastres por sequías, con un pico importante en el año 2012 con un total de 166 declaratorias de desastre por sequía y otro pico en el año 2020 con 116 declaratorias. La tendencia es clara al ascenso como se puede vislumbrar en la Figura 60.

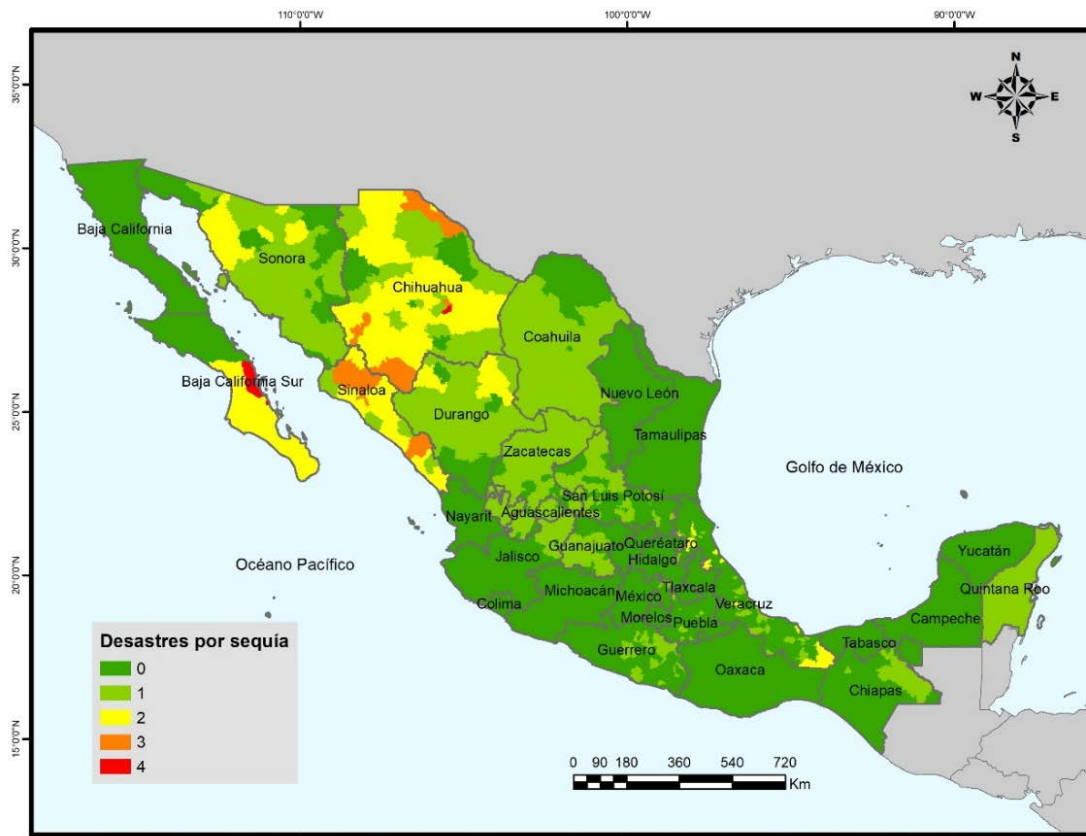
**Figura 60. Desastres por sequías en México, 2003-2023**



Fuente: Elaboración propia con base en BADESNIARN, 2024

Además, en el Mapa 12 se puede observar la distribución espacial de estos desastres, siendo los municipios de Loreto y Delicias en Baja California Sur y Chihuahua con cuatro desastres en el periodo de estudio los más afectados, seguido de seis municipios más de Chihuahua y cuatro de Sinaloa con tres desastres por sequía cada uno.

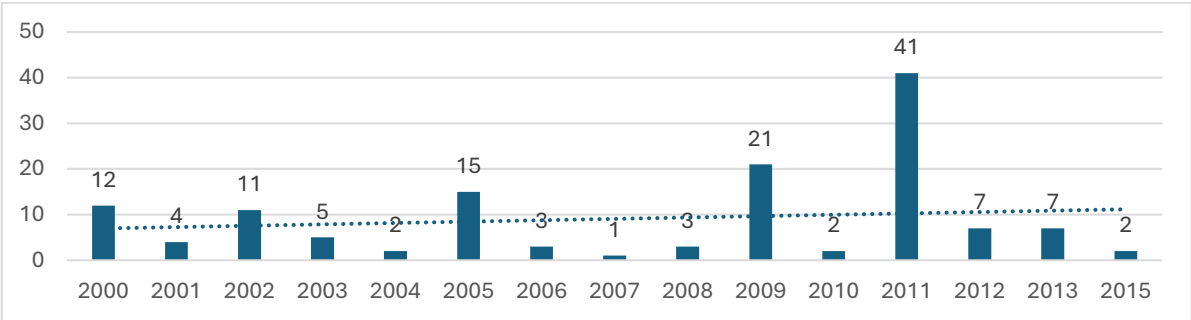
**Mapa 12. Desastres por sequías por municipio en México, 2003-2023**



Fuente: Elaboración propia con base en BADESNIARN, 2024

Los datos registrados por CENAPRED (2017) varían en cuanto al número de desastres por sequías para el periodo 2000-2015, por lo que se puede distinguir en la Figura 61, la tendencia de este tipo de desastre en este periodo se mantiene prácticamente igual.

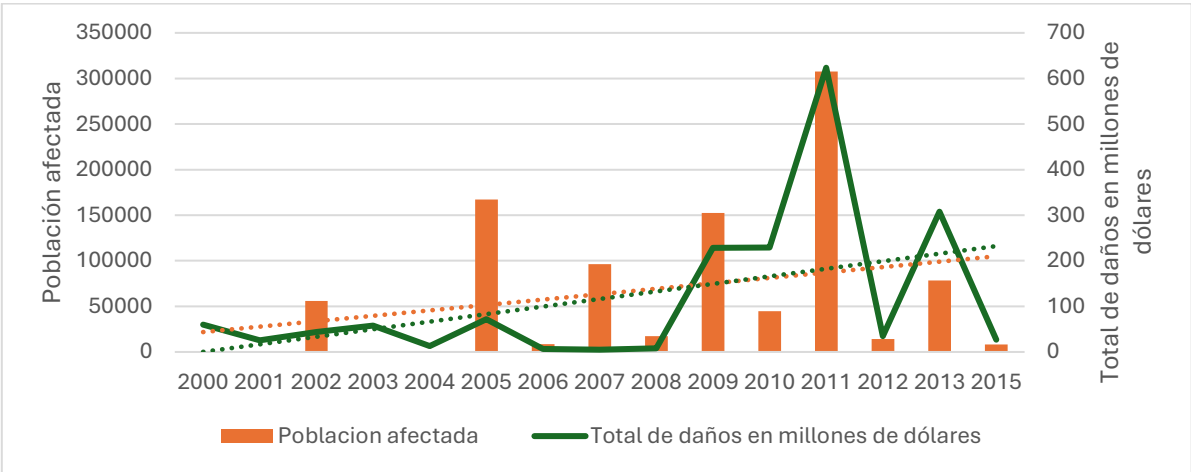
**Figura 61. Desastres por sequías en México, 2000-2015**



Fuente: Elaboración propia con base en CENAPRED, 2017.

En la Figura 62, se puede observar la tendencia de la población afectada y el total de daños en millones de dólares, ambas con claro crecimiento y con un claro pico en el año 2011, el cual registró 41 desastres por sequías que afectaron alrededor de 307 mil 618 personas y causaron daños por 624 millones de dólares. En cuanto a las viviendas únicamente en el año 2000 se presentaron 464 afectaciones y para el año 2007 hubo 5 defunciones relacionadas a las sequías.

**Figura 62. Población afectada y total de daños en millones de dólares causados por desastres por sequías en México, 2000-2015**

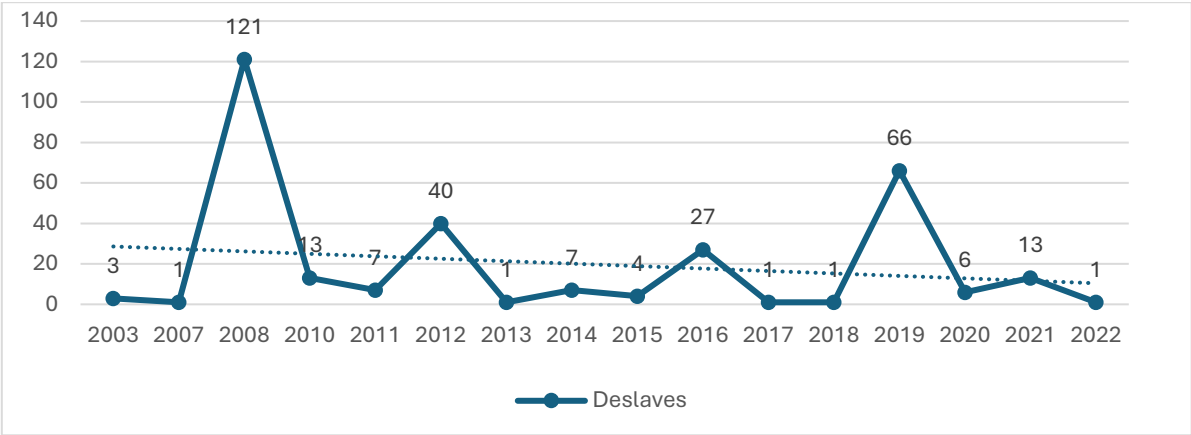


Fuente: Elaboración propia con base en CENAPRED, 2017.

A pesar de que la tendencia en la frecuencia de desastres por sequías aparentemente se mantiene igual, tanto los daños económicos como la población afectada tienen una clara tendencia al alza, por lo que puede decirse que, a pesar de no incrementarse el número de sequías en el territorio nacional, su intensidad sí se va incrementando.

También, desde el año 2003 se han presentado 312 desastres por deslaves en el país, como se puede apreciar en la Figura 63, siendo el año 2008 con 121 el más afectado, además de los picos del 2019 con 66 desastres y en el 2012 con 40. Así mismo, se percibe que la tendencia de la frecuencia de este tipo de desastres va ligeramente a la baja.

**Figura 63. Desastres por deslaves por agua en México 1900-2024**



Fuente: Elaboración propia con base en BADESNIARN, 2024

Totontepec Villa de Morelos, Oaxaca y Amatán, Chiapas son los municipios con mayor número de desastres por deslaves con 4 para el periodo de estudio, seguidos por cuatro municipios más de Oaxaca y uno de Chiapas con 3 desastres.

Esta distribución de desastres por deslaves en el país se puede observar en el Mapa 13, siendo los municipios del sur del país los más afectados.

**Mapa 13. Desastres por deslaves por municipio en México 2003-2023**

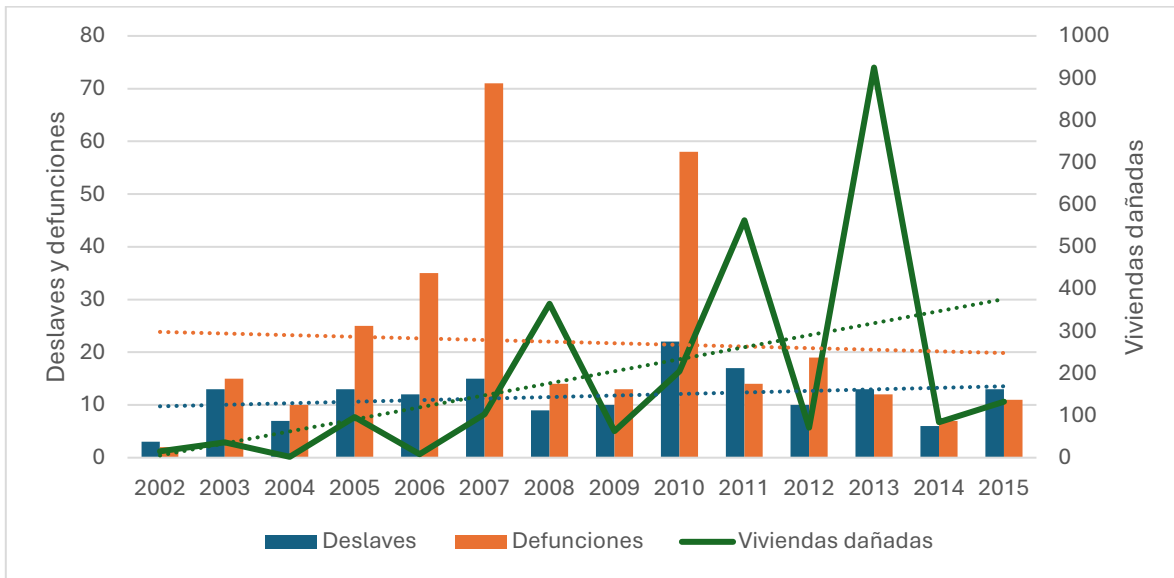


Fuente: Elaboración propia con base en BADESNIARN, 2024

Además, en el análisis de su intensidad y frecuencia podemos ver en la Figura 64 que para el periodo en el que se cuentan estos datos, la frecuencia de los desastres por deslaves va ligeramente al alza, al igual que las defunciones causadas por deslaves. Sin embargo, el número de viviendas dañadas va considerablemente al alza, resalta para los años 2008, 2011 y 2013 que el número de desastres es incluso menor que otros años con 9, 17 y 13 respectivamente, pero con 365, 563 y 925 viviendas dañadas, los picos más altos enteste rubro.

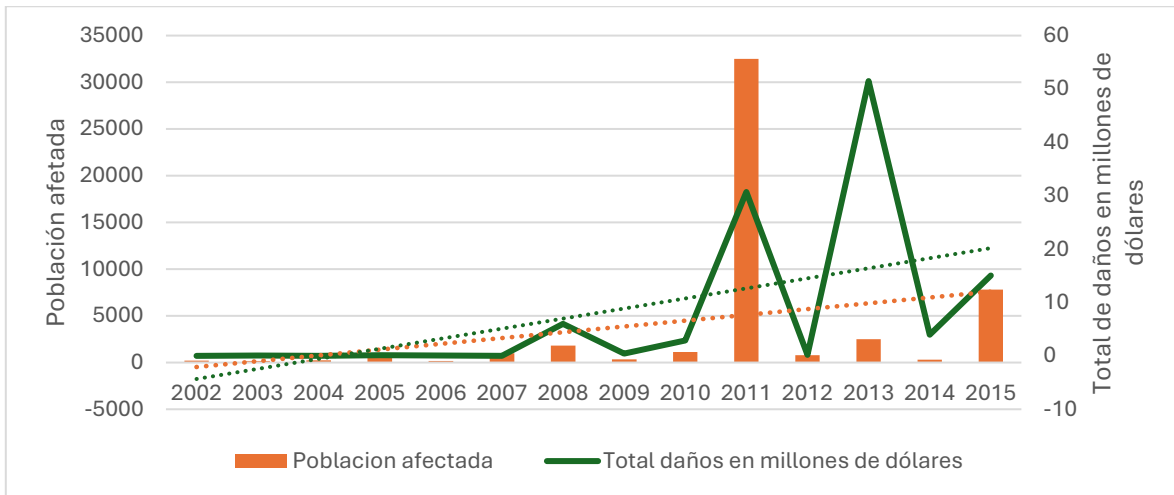
Mientras tanto, en la Figura 65, se distingue que la tendencia tanto de la población afectada como de los daños en millones de dólares va de manera importante al alza, con los picos más importantes en el año 2011 y 2013 con 32 mil 503 personas afectadas daños por 31 millones de dólares en el primero y 2 mil 510 personas afectadas y datos por 51 millones de dólares en el segundo pico.

**Figura 64. Desastres por deslaves, defunciones y viviendas dañadas en México, 2002-2015**



Fuente: Elaboración propia con base en CENAPRED, 2017.

**Figura 65. Población afectada y total de daños en millones de dólares por deslaves en México, 2002-2015**



Fuente: Elaboración propia con base en CENAPRED, 2017.

Con estos datos, se puede inferir que la gravedad de los desastres provocados por deslaves está aumentando de manera considerable, siendo las defunciones el único rubro en descenso.

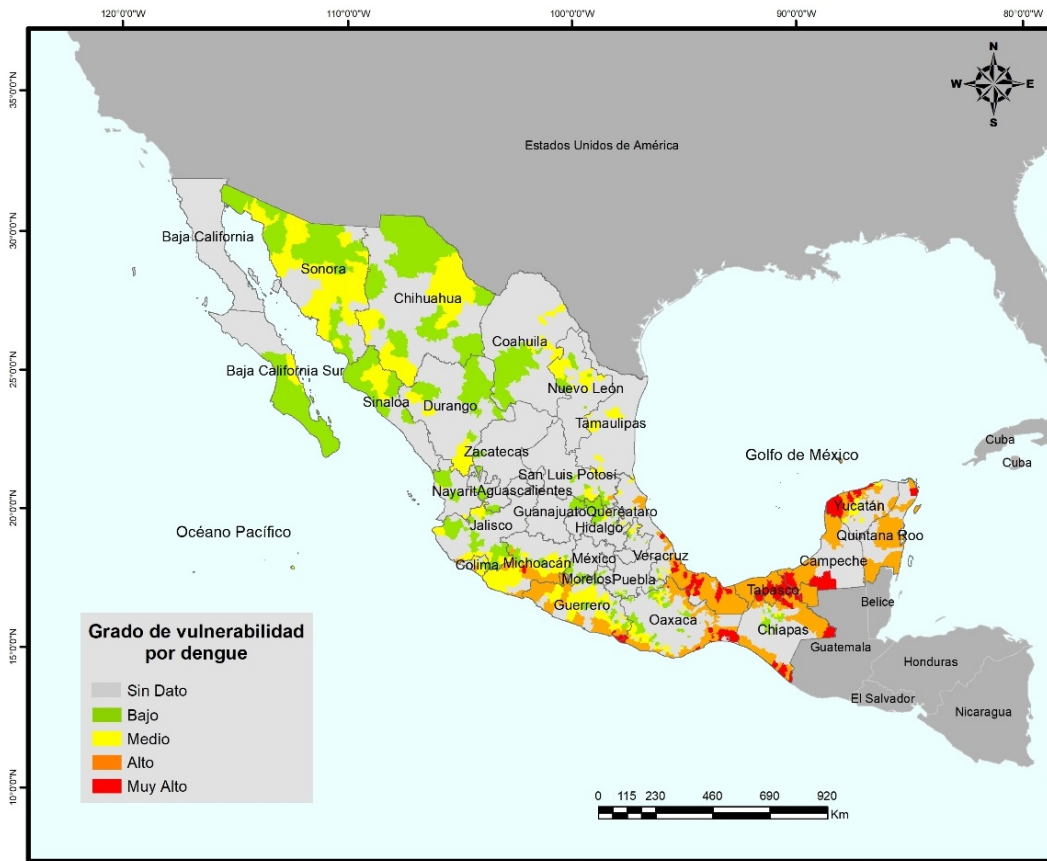
Finalmente, en lo que respecta a los desastres por incendios en México y para el periodo de estudio, se registraron 78 eventos, de los cuales 75 se dieron en el año 2003 y 72 de estos se localizaron en el estado de Oaxaca. Los otros estados afectados fueron Chiapas en el año 2003 y Coahuila para el año 2011. No se cuenta con datos referentes a desastres por incendios y sus respectivas afectaciones en la base de datos de CENAPRED (2017) por lo que no se puede analizar si su intensidad se está incrementando.

## **5.2 Índice de Vulnerabilidad Social al Cambio Climático**

En una segunda etapa se retoman los datos proporcionados por el INECC (2024; 2021) sobre los municipios vulnerables al cambio climático a nivel nacional resultado de las evaluaciones del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (ANVCC), en el cual se analizaron vulnerabilidades específicas relacionadas al clima a nivel nacional, de estas. Se eligieron para trabajar la vulnerabilidad de asentamientos humanos a deslaves, inundaciones y al incremento potencial de enfermedades transmitidas por vector como el dengue, debido a que tienen a la población como objeto vulnerable.

El Mapa 14 muestra la vulnerabilidad de la población al posible incremento en distribución de dengue por municipio calculado por el INECC (2024; 2021) para el año 2023. En este se puede observar que la mayor vulnerabilidad se presenta en los municipios localizados en las zonas tropicales y húmedas del sur y sureste de México. Siendo los municipios de Veracruz, Tabasco, Chiapas, Oaxaca, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Guerrero y Michoacán los más afectados. En total, 104 municipios del país tienen un grado de vulnerabilidad muy alto ante el incremento en distribución de dengue, 178 municipios cuentan con grado alto y 239 municipios con grado medio.

**Mapa 14. Grado de vulnerabilidad de la población al incremento en distribución de dengue por municipio, 2023.**



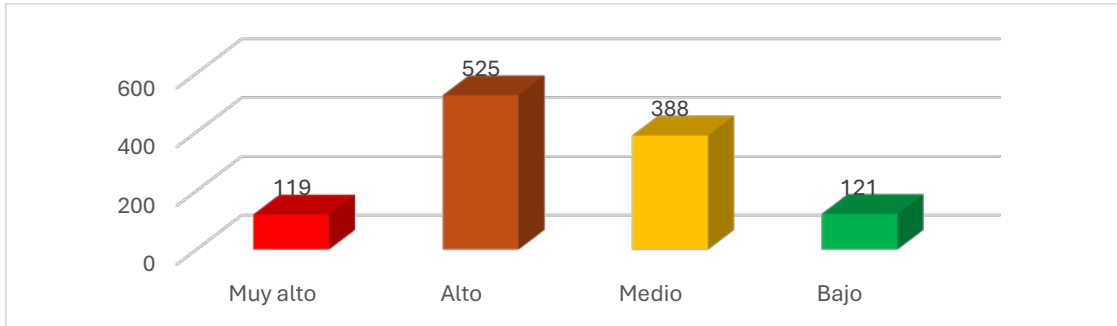
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INECC, 2024.

Las áreas en rojo y naranja indican zonas prioritarias para la intervención en programas de salud pública como programas de control de mosquitos, campañas de concientización y esfuerzos para la reducción de la exposición de la población. Así mismo, las zonas con grado de vulnerabilidad media deberán prepararse ya que el cambio climático podría aumentar su exposición y riesgo a largo plazo.

Con relación a la vulnerabilidad de los asentamientos humanos a deslaves, en el Mapa 15 se puede advertir, que este tipo de vulnerabilidad se distribuye espacialmente en todo el país exceptuando la zona del sur este y este del territorio nacional. En la Figura 66, se observa que alrededor de 119 municipios cuentan con un grado de vulnerabilidad muy alto, de los cuales 72 se localizan en el estado de Oaxaca, a su vez 535 municipios tienen un rango alto y 388 medio. Los municipios

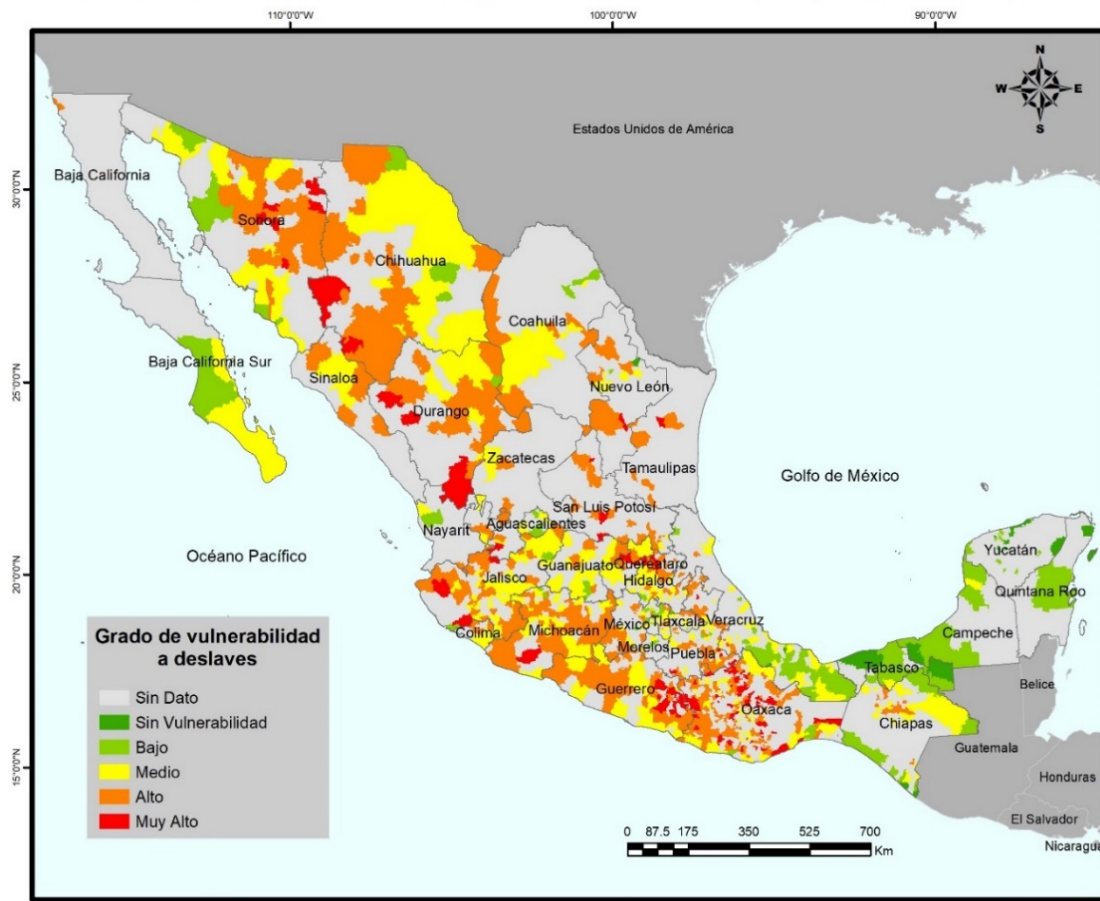
más afectados se localizan en los estados de Oaxaca, Michoacán de Ocampo, Puebla, Sonora y Guerrero.

**Figura 66. Municipios por grado de vulnerabilidad a deslaves, 2024.**



Fuente: Elaboración propia.

**Mapa 15. Grado de vulnerabilidad de los asentamientos humanos a deslaves por municipio en México, 2023**

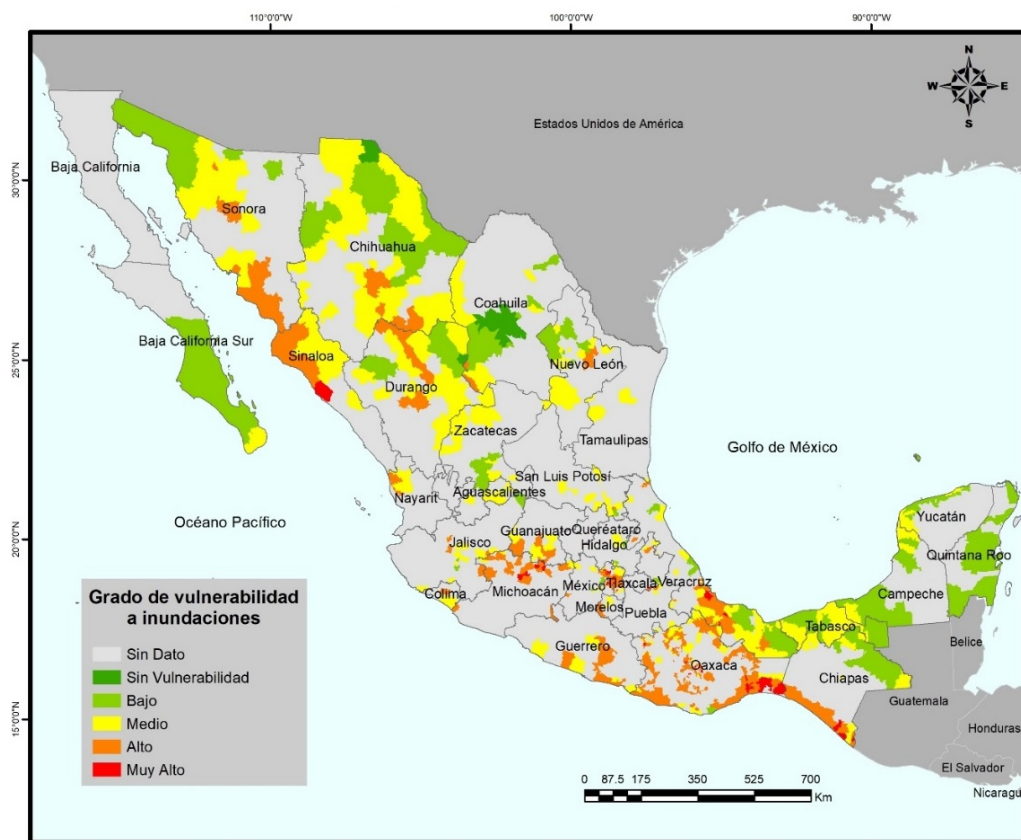


Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INECC, 2024.

Esta distribución puede atribuirse principalmente a la topografía del país, así como a factores como la deforestación y la expansión urbana en zonas inestables que agravan el riesgo. Por tanto, se destaca la necesidad de la creación de estrategias y reglamentos de ordenamiento territorial que eviten la construcción de asentamientos humanos en áreas de alta o muy alta vulnerabilidad ante deslaves, así como a la aplicación de prácticas de reforestación y conservación de suelos, implementación de sistemas de alerta temprana y planes de evacuación para minimizar los impactos de este tipo de desastres.

Referente al grado de vulnerabilidad de los asentamientos humanos a inundaciones, el Mapa 16 muestra que la mayor parte del territorio nacional no es vulnerable a esta variable.

**Mapa 16. Grado de vulnerabilidad de los asentamientos humanos a inundaciones por municipio en México, 2023.**



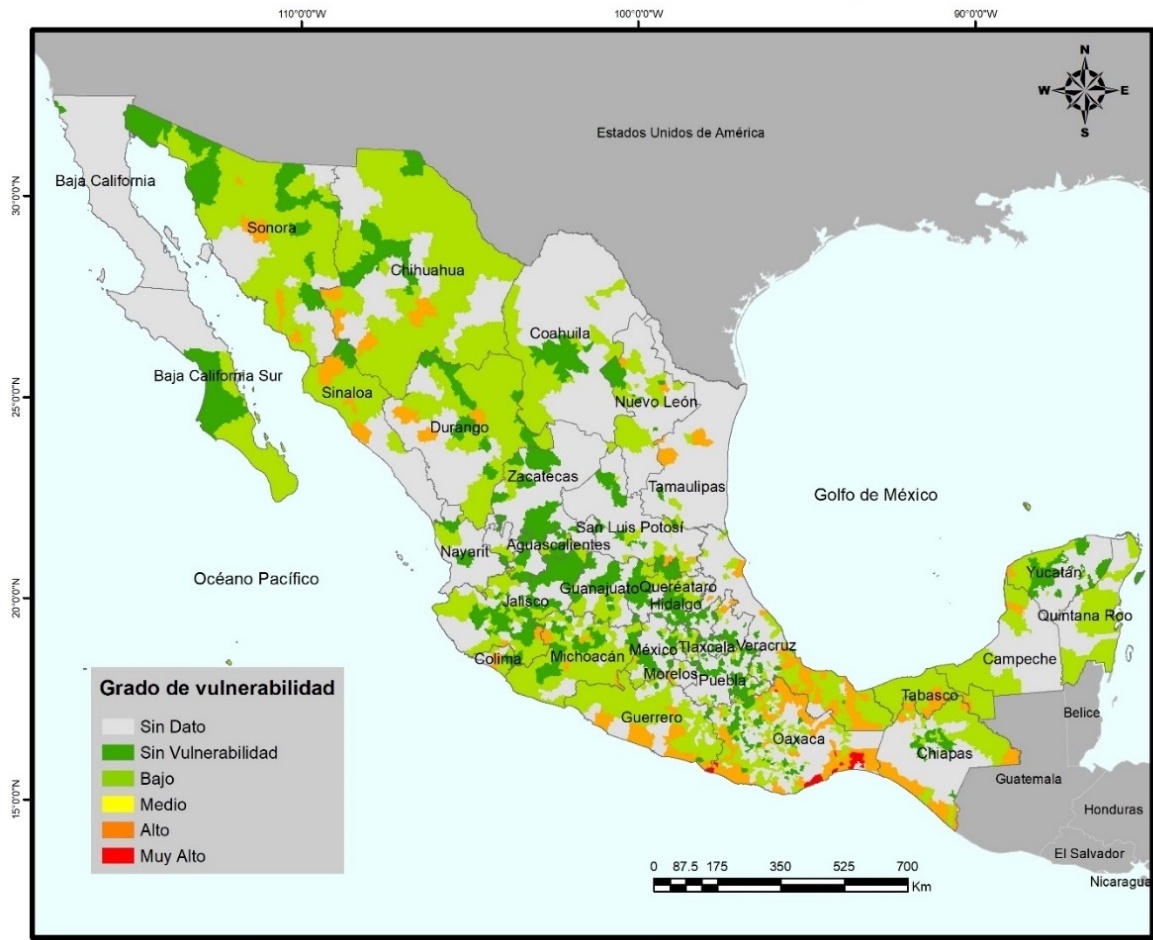
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INECC, 2024.

Sin embargo, 52 municipios refieren un grado muy alto de vulnerabilidad a inundaciones, 242 alto y 272 medio. Siendo que 44% de los municipios con mayor vulnerabilidad se encuentran localizados en el estado de Oaxaca, seguido por Michoacán, Veracruz, Estado de México y Guerrero. Resalta Tabasco que, a pesar de ser un estado que históricamente ha presentado desastres severos por inundaciones, en el cálculo realizado por el INECC (2023), no parece ser representativo.

El cambio climático impacta directamente en este rubro debido a los cambios y aumento en la frecuencia e intensidad de lluvias extremas y eventos ciclónicos. Donde la urbanización no planificada en zonas bajas y cercanas a los cauces de los ríos incrementa la vulnerabilidad de los asentamientos humanos. Por tanto, los municipios con alta y muy alta vulnerabilidad requieren una atención inmediata en la gestión de riesgos, así como la construcción de infraestructura de drenaje adecuada y sistemas de alerta temprana, además de la implementación de políticas de ordenamiento territorial apropiadas, así como la aplicación de reglamentos de construcción.

Con base en los tres grados de vulnerabilidad al cambio climático anteriores se calculó el Índice de Vulnerabilidad Social al Cambio Climático (IVCC), cuyo principal enfoque se encuentra en la vulnerabilidad de la población y de los asentamientos humanos. El Mapa 17. muestra su distribución geográfica y se puede apreciar que el mayor grado de vulnerabilidad se encuentra dado en varios municipios del estado de Oaxaca, seguido por municipios pertenecientes a Veracruz, Guerrero, Chiapas y Tabasco. Así mismo, algunos pocos municipios aislados del norte del territorio también presentan una alta vulnerabilidad al cambio climático, estos se localizan en Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango y Tamaulipas.

**Mapa 17. Grado de vulnerabilidad social al cambio climático por municipio en México, 2024**



Fuente: Elaboración propia.

Los estados del centro del país presentan un menor grado de vulnerabilidad social al cambio climático, probablemente relacionado tanto con su ubicación, como con la topografía. Además, en el Cuadro 11 se puede apreciar que existen 486 municipios con grado bajo de vulnerabilidad al cambio climático, 706 con grado medio, 184 con grado alto y 15 con grado muy alto de vulnerabilidad al cambio climático. En cuanto a su distribución espacial, Oaxaca es el estado con mayores niveles de vulnerabilidad social al cambio climático en sus municipios. En dicha entidad se encuentran localizados los 15 municipios con más alto nivel de vulnerabilidad al cambio climático del país, así mismo tiene 64 municipios con grado alto de vulnerabilidad, 160 con medio y 70 con bajo. Le sigue Veracruz con 38

municipios con alta vulnerabilidad, 45 con media y 16 con baja. Siendo Baja California el estado con menor vulnerabilidad global al cambio climático.

**Cuadro 11. Grado de vulnerabilidad social al cambio climático por municipio y entidad federativa, 2024**

Entidad	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Aguascalientes	5	2	0	0
Baja California	1	0	0	0
Baja California Sur	1	3	0	0
Campeche	0	6	1	0
Chiapas	20	20	20	0
Chihuahua	8	42	4	0
Ciudad de México	3	6	0	0
Coahuila de Zaragoza	2	15	0	0
Colima	1	4	2	0
Durango	8	20	4	0
Guanajuato	15	14	0	0
Guerrero	3	46	14	0
Hidalgo	34	14	0	0
Jalisco	55	34	2	0
México	39	36	2	0
Michoacán de Ocampo	32	57	6	0
Morelos	0	7	3	0
Nayarit	2	4	0	0
Nuevo León	5	17	2	0
Oaxaca	70	160	64	15
Puebla	51	17	3	0
Querétaro	9	3	0	0
Quintana Roo	1	5	0	0
San Luis Potosí	7	14	4	0
Sinaloa	1	7	3	0
Sonora	11	50	5	0
Tabasco	0	14	3	0
Tamaulipas	2	5	3	0
Tlaxcala	19	2	0	0
Veracruz de Ignacio de la Llave	16	45	38	0
Yucatán	43	34	1	0
Zacatecas	22	3	0	0
<b>Total</b>	<b>486</b>	<b>706</b>	<b>184</b>	<b>15</b>

Fuente: Elaboración propia.

En total, 1 mil 78 municipios del país no tienen ningún grado de vulnerabilidad social al cambio climático calculado. Ya sea por la falta de datos en los índices de vulnerabilidad calculados por el INECC o por la falta de riesgos relacionados con el

dengue, los deslaves e inundaciones. Por otro lado, en el cuadro 12 se observa la población en números netos que reside en municipios con bajo, medio, alto y muy alto grado de vulnerabilidad social al cambio climático, así como el porcentaje de la población total por estado que ésta representa.

**Cuadro 12. Porcentaje y total de población por grado de vulnerabilidad social al cambio climático por municipio y entidad federativa, 2024**

Entidad	Bajo		Medio		Alto		Muy Alto	
	Población	%	Población	%	Población	%	Población	%
Aguascalientes	1220770	45.5	109786	18.2				
Baja California	126890	16.7						
Baja California Sur	73021	20.0	661404	60.0				
Campeche			689667	50.0	11452	8.3		
Chiapas	1129813	16.1	1274042	16.1	635768	16.1		
Chihuahua	1570145	11.9	764980	62.7	25353	6.0		
Ciudad de México	1014694	18.8	5191751	37.5				
Coahuila de Zaragoza	95124	5.3	1142630	39.5				
Colima	157048	10.0	163426	40.0	48463	20		
Durango	459320	20.5	462577	51.3	31383	10.3		
Guanajuato	1067945	32.6	1612002	30.4		0		
Guerrero	21510	3.7	1429353	56.8	431780	17.3		
Hidalgo	992780	40.5	217222	16.7		0		
Jalisco	2889053	44.0	1611681	27.2	15200	1.6		
México	5163232	31.2	6163220	28.8	19998	1.6		
Michoacán de Ocampo	1861840	28.3	1897316	50.4	138823	5.3		
Morelos			406832	19.4	35735	8.3		
Nayarit	463156	10.0	112302	20.0				
Nuevo León	898279	9.8	2783585	33.3	5620	3.9		
Oaxaca	180626	12.3	1024239	28.1	1096321	11.2	156554	2.5
Puebla	969171	23.5	264477	7.8	124963	1.4		
Querétaro	1585366	50.0	54865	16.7				
Quintana Roo	88626	9.1	1585627	45.5				
San Luis Potosí	100452	12.1	281716	24.1	50653	6.9		
Sinaloa	29334	5.6	955355	38.9	325207	16.7		
Sonora	376135	15.3	1405779	69.4	100761	6.9		
Tabasco		0.0	2163911	82.4	238687	17.6		
Tamaulipas	5727	4.7	521559	11.6	20731	7		
Tlaxcala	531738	31.7	12455	3.3		0		
Veracruz de Ignacio de la Llave	421970	7.5	2523393	21.2	974727	17.9		
Yucatán	1406603	40.6	408321	32.1	8389	0.9		
Zacatecas	492613	37.9	71530	5.2				
<b>Total</b>	<b>25392981</b>	<b>20.1</b>	<b>37966967</b>	<b>30.1</b>	<b>4340014</b>	<b>3.1</b>	<b>156554</b>	<b>0.1</b>

Fuente: Elaboración propia.

Resalta el estado de Oaxaca, en el cual 2.5% de su población total reside en municipios con un grado muy de vulnerabilidad social al cambio climático, seguido por Veracruz de la Llave con 17.9%, Tabasco con 17.6% y Guerrero con 17.3% de su población total en municipios con grado alto de vulnerabilidad social al cambio climático.

De manera global, 20.1% de la población total del país reside en municipios con grado bajo, 30.1% medio, 3.1% alto y 0.1% muy alto de vulnerabilidad social al cambio climático.

### **5.3 Correlación del IVSCC y sus variables con los criterios de vulnerabilidad específica de los territorios al cambio climático**

El IVSCC subraya la importancia de desarrollar estrategias de adaptación al cambio climático, especialmente en las regiones más vulnerables, las cuales deben integrar diversos ámbitos. A continuación se muestra el análisis de cada una de las variables previamente elegidas correspondientes a los criterios de vulnerabilidad específica de los territorios al cambio climático (Novillo, 2018), las cuales son; tamaño de los asentamientos por rango de población, altura media municipal, municipios ubicados en la costa y en el Caribe, existencia de Atlas Municipal de Riesgo, porcentaje de la población con bajo o muy bajo Grado de Accesibilidad a Carreteras Pavimentadas y tasa de camas censables de hospitales por cada 1 mil habitantes así como de su correlación estadística o falta de esta con cada uno de los índices anteriores.

Para la clasificación de los asentamientos por rango de población por municipio en México, con datos para el año 2020, se contabilizaron 2 mil 234 municipios con una población menor a cien mil habitantes, 136 dentro de la clasificación de ciudades provinciales, 85 ciudades intermedias y 14 ciudades capitales.

Referente a la altitud, el Cuadro 13 muestra el rango de altitud media por municipio en metros sobre el nivel del mar (msnm), siendo que la mayor proporción de

municipios tiene una altitud media mayor a 561.2 msnm, y estos se localizan en todo el eje central del país.

**Cuadro 13. Rango de altitud media en msnm por municipio en México**

Rango de altura	0-112.26	112.27-224.49	224.5-336.72	336.73-448.95	448.96-561.19	>561.2
Municipios	352	98	76	61	59	1823

Fuente: Cálculos y elaboración propia a partir de datos de INEGI, 2024a.

Así mismo, en la Cuadro 14 se pueden observar el porcentaje de los 154 municipios costeros y de los 11 municipios del Caribe con grados de vulnerabilidad muy altos y altos. Resalta que la única variable significativa para el Caribe es el grado alto de vulnerabilidad por dengue con 45.5%, mientras que en los municipios costeros este representa 36.4% de sus municipios. Seguido por 26% de municipios con grado alto de vulnerabilidad por inundaciones y 24% de estos con grado alto de vulnerabilidad social al cambio climático.

**Cuadro 14. Porcentaje de municipios costeros y del Caribe de México con grados altos y muy altos de vulnerabilidad por variables**

Variable	Porcentaje de municipios costeros	Porcentaje de municipios del Caribe
Municipios con grado de vulnerabilidad por dengue muy alto	15.6%	9%
Municipios con grado de vulnerabilidad por dengue alto	36.4%	45.5%
Grado de vulnerabilidad por muy alto por deslaves	2%	0%
Grado de vulnerabilidad por alto por deslaves	8.4%	0%
Grado de vulnerabilidad muy alto por inundaciones	2%	0%
Grado de vulnerabilidad alto por inundaciones	26%	0%
IVSCC grado muy alto	3.9%	0%
IVSCC grado alto	24%	0%

Fuente: Cálculos y elaboración propia.

Por otra parte, se analizó la existencia o falta de esta de Atlas de Riesgos Municipal, donde únicamente 604 municipios del país cuentan con él, lo que implica que 75% del territorio nacional no presenta cobertura de dicho instrumento. Además, 54% de

los Atlas de Riesgos Municipales fueron publicados durante o antes del año 2015, lo que implica que más de la mitad de estos no están actualizados. Sin embargo, el Mapa 18 muestra la distribución territorial de la presencia de dicho instrumento. Analizado por la población de los municipios que cuentan con Atlas de Riesgo se encontró que únicamente el 11.9% de estos tienen una población menor a 40 mil habitantes.

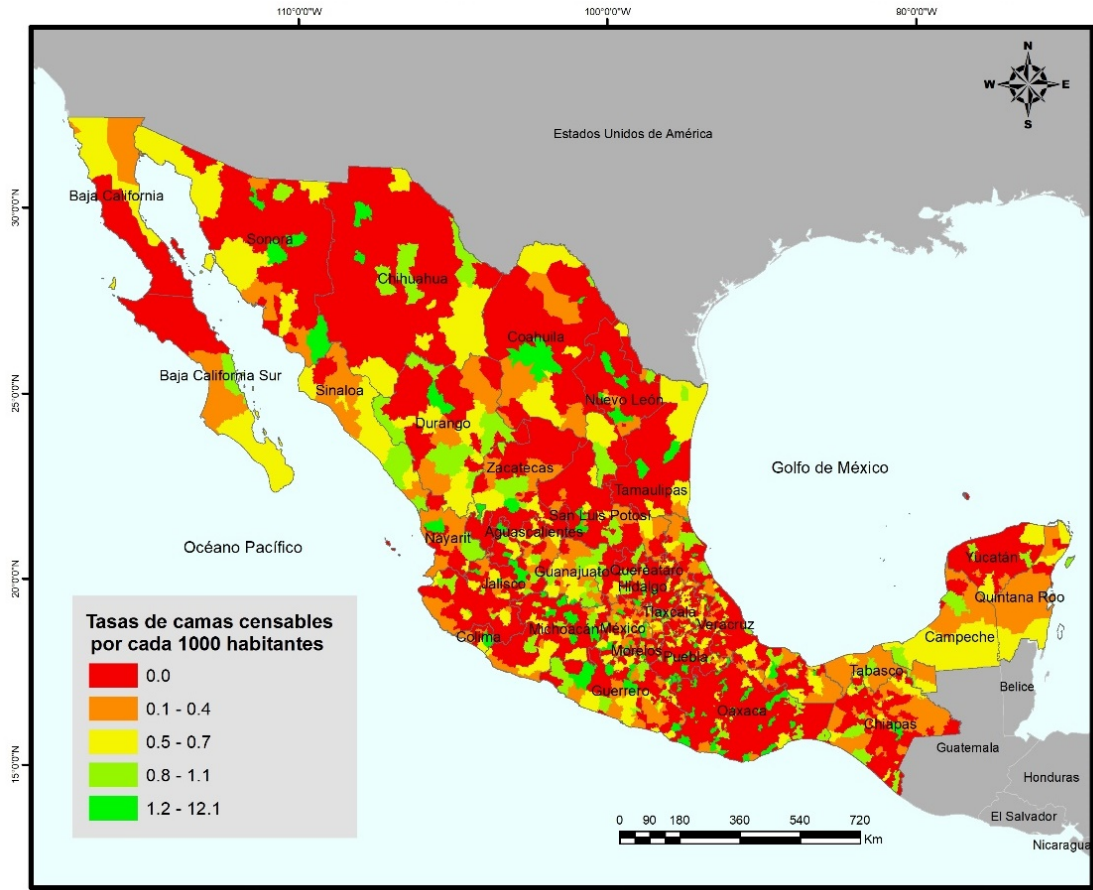
**Mapa 18. Distribución territorial de Atlas de Riesgos Municipal en México, 2024.**



Fuente: elaboración propia a partir de datos CENAPRED, 2024.

A su vez, se analizó en el Mapa 19, la tasa municipal de camas censables hospitalarias por cada 1 mil habitantes (OCDE, 2020), la cual representa la cantidad de recursos disponibles para los pacientes hospitalizados, estas abarcan las unidades de cuidados agudos y crónicos de larga duración tanto de sector público como privado.

Mapa 19. Tasa de camas censables públicas y privadas por cada 1 mil habitantes por municipio, 2023.

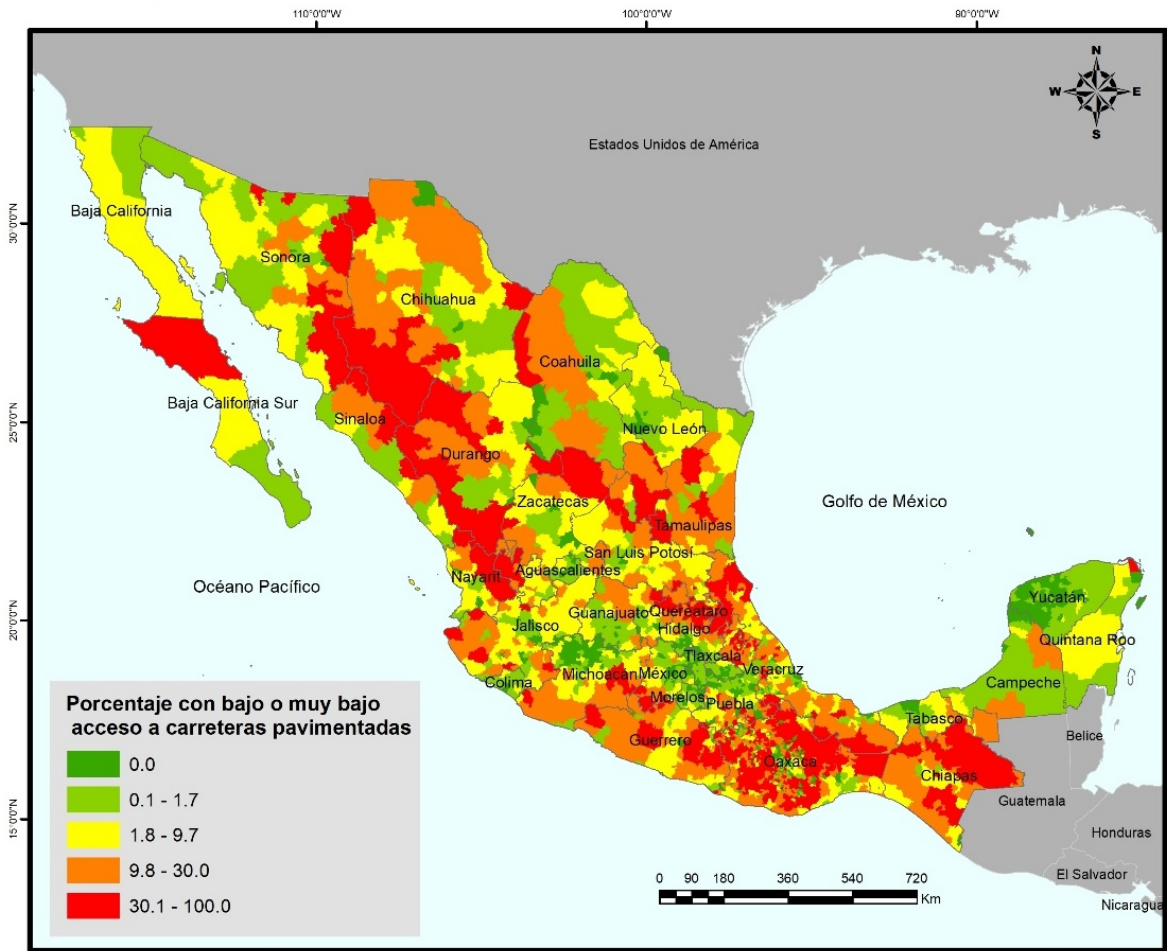


Fuente: Cálculos y elaboración propia a partir de datos de Dirección General de Información en Salud (2024) e INEGI (2024b).

Se distingue que, para el año 2023, 1 mil 817 municipios del país no tenían ninguna cama censable por cada 1 mil habitantes mientras que solo 98 municipios contaban con 1.2 o más camas por cada mil habitantes, siendo San Bartolo Coyotepec, Oaxaca y Apetatitlán de Antonio Carvajal los municipios con la mayor tasa en el país, con 12.1 y 11.9 respectivamente.

También se representa en el Mapa 20 el porcentaje de población con bajo o muy bajo acceso a carreteras pavimentadas por municipio para el año 2020. Esto bajo la premisa que a mayor acceso a carreteras pavimentadas mayor y mejor movilidad de la población, lo que permite tanto la distribución de recursos básicos en caso de desastres como la evacuación pronta y oportuna de la población.

**Mapa 20. Porcentaje de población con bajo o muy bajo acceso a carreteras pavimentadas por municipio, 2020.**

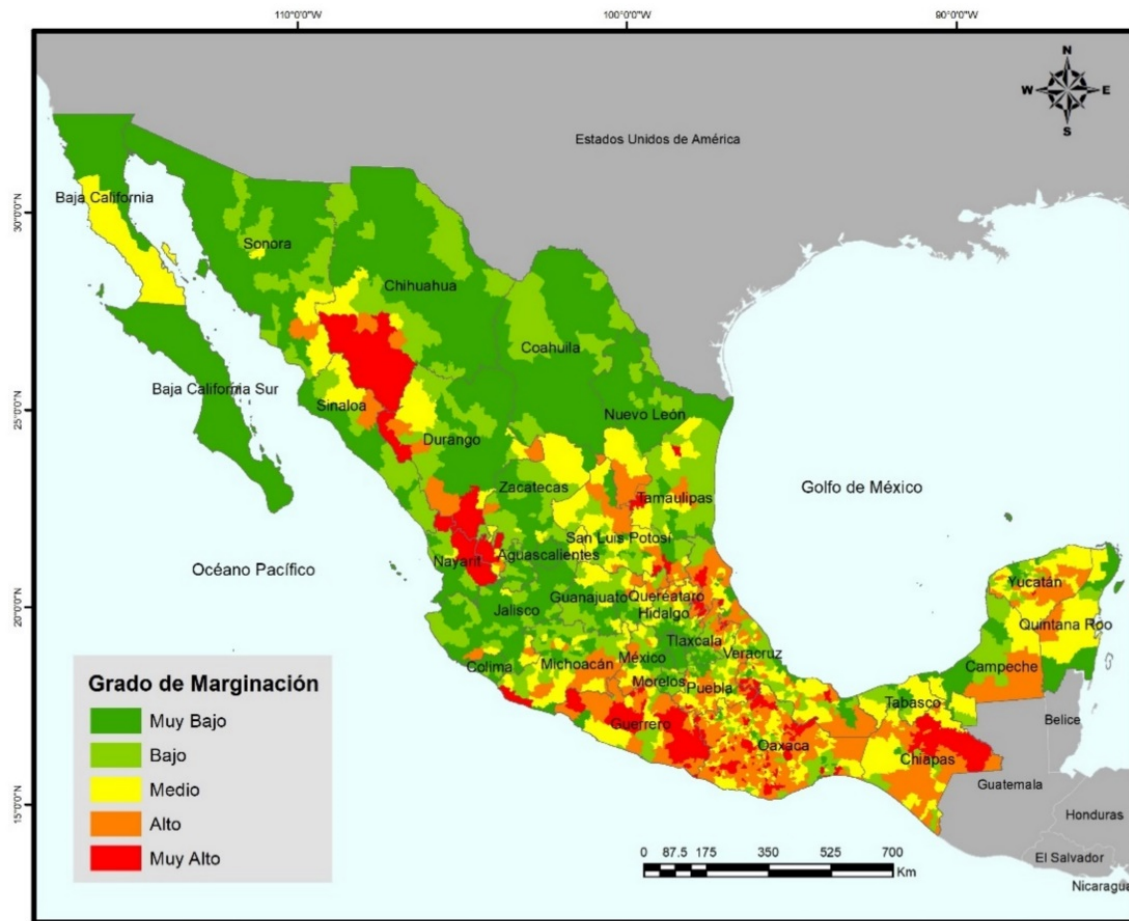


Fuente: Elaboración propia con datos del CONEVAL (2021).

Dicho índice fue calculado por el CONEVAL (2021) y toma en cuenta la distancia desde las localidades hasta las carreteras pavimentadas, la disponibilidad de transporte público y el tiempo promedio de traslado desde las localidades hacia los centros de servicios. Los estados con mayor porcentaje de población con bajo o muy bajo acceso a carreteras pavimentadas son Durango con 29.6%, Chiapas con 27.5%, Oaxaca con 26%, Chihuahua con 24.7 y Guerrero con 23.9%.

Mientras tanto, en el Mapa 21 puede observarse la distribución espacial del grado de marginación 2020, calculado por el CONAPO (2020).

Mapa 21. Grado de marginación por municipio, 2020.



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPO (2020).

Donde 204 municipios tienen un grado de marginación muy alto, 586 alto, 494 medio, 530 bajo y 655 muy bajo. En cuanto a la distribución espacial de la marginación, los municipios con mayor grado se localizan de manera predominante en el sur y sur este del país, así como en algunas zonas de los municipios de Chihuahua, Durango, San Luis Potosí, Puebla y Veracruz.

Finalmente, se calcularon los coeficientes de correlación estadística de Spearman de cada una de las variables anteriormente descritas con los grados de vulnerabilidad por dengue, deslaves, inundaciones y con el IVSCC. Estos pueden apreciarse en la Cuadro 15.

**Cuadro 15. Cálculo de coeficiente de correlación de Spearman entre variables.**

Tipo de vulnerabilidad	Tamaño de asentamiento municipal	Altura media municipal	Atlas Municipal de Riesgo	Tasa municipal de camas censables por cada 1000 habitantes	Porcentaje de población con grado bajo o muy bajo de acceso a carreteras pavimentadas	Grado de marginación 2020
Grado de vulnerabilidad por dengue	-0.035	-0.598**	-0.087**	-0.042	-0.069**	-0.070**
Grado de vulnerabilidad por deslaves	0.073	0.095**	-0.098**	-0.001	0.163**	0.089**
Grado de vulnerabilidad por inundaciones	.144*	-.172**	0.042*	-0.028	-.097**	-.141**
IVSCC	0.092	0.236**	-0.068**	-0.019	-0.051*	-0.015

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral)

\* . La correlación es significativa en el nivel 0.05 (bilateral)

Fuente: Cálculos y elaboración propia.

En este tenor, el tamaño de asentamiento únicamente se correlaciona de manera positiva con el grado de vulnerabilidad por inundaciones, es decir, que, a mayor tamaño de asentamiento, mayor es la vulnerabilidad con 95% de confianza. En cuanto al rango de altura media municipal, esta se correlaciona con cada uno de los grados de vulnerabilidad, así como con el IVSCC con un 99% de confianza. Siendo su mayor correlación estadística significativa dada con el grado de vulnerabilidad por dengue la cual es inversamente proporcional, ya que, a menor altura, mayor grado de vulnerabilidad por el incremento del dengue. Seguido por el grado de vulnerabilidad de asentamientos humanos por inundaciones donde a menor rango de altura media, mayor vulnerabilidad. Sin embargo, tanto en el IVSCC como en la vulnerabilidad por deslaves la correlación es directa, es decir, que a mayor altura mayor vulnerabilidad.

En lo que respecta a la variable de existencia de Atlas de Riesgo Municipal, ésta se correlaciona con todos los grados de vulnerabilidad incluyendo el IVSCC con un grado de confianza de 99% exceptuando con el grado de vulnerabilidad por

inundaciones, con el cual se correlaciona con un grado de confianza de 95%. De manera generalizada, en los municipios que no cuentan con un Atlas de Riesgo Municipal, la vulnerabilidad es mayor. Mientras tanto, la tasa municipal de camas censables por cada 1 mil habitantes no se correlaciona estadísticamente con ninguna vulnerabilidad.

En contraparte, el porcentaje de población con bajo o muy bajo acceso a carreteras pavimentadas se puede apreciar que tiene una correlación estadística significativa con un grado de confianza del 95% para el IVSCC y de un 99% con el resto de los grados de vulnerabilidad. De igual forma su correlación es inversamente proporcional con el grado de vulnerabilidad por dengue, inundaciones y el IVSCC, y directamente proporcional con el grado de vulnerabilidad por deslaves. Por último, se puede detectar que el grado de marginación se relaciona mínimamente con una confianza de 99% a los grados de vulnerabilidad por dengue, deslaves e inundaciones, sin embargo, no tiene correlación estadística con el IVSCC como pudiera esperarse.

## Conclusiones

El cambio climático representa una amenaza significativa para México, afectando aspectos tanto ambientales como sociales. Los impactos sociales de este fenómeno en el país incluyen efectos negativos en la salud con el aumento de enfermedades por vectores, aumento de morbilidad y mortalidad tanto por la presencia de eventos extremos como por los efectos de las olas de calor y la contaminación, así como afectaciones en diversos sectores como el energético, turismo, y agrícola.

En este sentido, basado en el análisis histórico de las declaratorias de desastres naturales derivados de fenómenos relacionados con el cambio climático, se puede concluir que, a pesar de haber utilizado dos fuentes de datos de fuentes oficiales en México, las cifras de declaratorias de desastres naturales del BADESNIARN (2024) varía a los datos derivados de CENAPRED (2017), sin embargo al homologarlos se puede observar que siguen las mismas tendencias, lo que comprueba en cierto grado la veracidad de los mismos.

En cuanto a la tendencia del total de desastres naturales relacionados con el cambio climático se deduce que la frecuencia de estos se mantiene prácticamente igual, aunque de acuerdo con datos de CENAPRED (2017) para el periodo 2000-2015 tiene una tendencia positiva, a diferencia del periodo 2003-2023 con datos de BADESNIARN (2024). Esto se puede explicar debido a que en los años 2000, 2001 y 2002 registrados por CENAPRED acontecieron un número inusualmente menor de desastres naturales en el territorio nacional, lo que modifica la línea de tendencia general al alza.

En lo que corresponde a los daños económicos, la población afectada y el número de defunciones para el periodo en el que se cuentan con dichos datos (2000-2015), se distingue una clara tendencia al alza, lo que comprueba la postura con respecto a que la intensidad de los fenómenos y desastres naturales se ha incrementado muy probablemente relacionado con el cambio climático. Además, se observa que los municipios con mayor número de declaratorias de desastres se encuentran

localizados en las costas, siendo los municipios de la franja central del país los que menos declaratorias han presentado.

En un análisis independiente por tipo de desastre natural nos encontramos que las inundaciones y las sequías son los fenómenos que mantienen un alza en su frecuencia, los deslaves y las lluvias severas mantienen una tendencia horizontal con un poco de variación al alza mientras que los ciclones tropicales han disminuido su presencia en el territorio nacional.

Con respecto a su intensidad, de acuerdo con los datos de viviendas y población afectada, daños totales en millones de dólares y número de defunciones se puede concluir que la intensidad de las lluvias severas se mantiene prácticamente igual, pero con una ligera tendencia a la baja, mientras que la intensidad de ciclones tropicales, inundaciones, sequías y deslaves tienen una tendencia al alza. Lo que demuestra de manera parcial la hipótesis del presente trabajo, donde se estableció que los fenómenos extremos relacionados con el cambio climático se están presentando con menor frecuencia, pero con mayor intensidad en el territorio nacional.

Referente a las bases de datos utilizadas para el análisis estadístico del presente trabajo, es importante resaltar la posible existencia de sesgos inherentes derivados a que en gran medida las bases de datos de desastres en México dependen de las declaratorias de desastre y emergencia, las cuales son emitidas por las autoridades federales, estatales y municipales, además de que dichos términos tienen una connotación política y administrativa.

Posteriormente, a partir de los Índices de Grado de vulnerabilidad de la población al incremento en la distribución de dengue por municipio, y el Grado de vulnerabilidad de los asentamientos humanos a deslaves e inundaciones, se construye el Índice de vulnerabilidad social al cambio climático.

Los 15 municipios con grado muy alto de vulnerabilidad social al cambio climático son: Santiago Niltepec, Reforma de Pineda, Salina Cruz, San Dionisio del Mar, San Francisco Ixhuatán, San José Independencia, San Pedro Huamelula, San Pedro Huilotepec, Santa María Xadani, Santiago Astata, Santiago Llano Grande, Santiago Tapextla, Santo Domingo Ingenio, Santo Domingo Armenta y Santo Domingo Chihuitán, todos pertenecientes al estado de Oaxaca. De estos, 33% son municipios costeros, 86% tienen vulnerabilidad al dengue muy alta, 26% muy alta a deslaves y 56% vulnerabilidad muy alta a inundaciones. Además, una quinta parte tiene un grado de marginación para el año 2020 muy alto y una tercera parte tiene un grado alto.

Concerniente a los 184 municipios con grado alto de vulnerabilidad social al cambio climático se encontró que el 34.7% de estos se localizan en el estado de Oaxaca, 20.6% en Veracruz, 10.8% en Chiapas y 7.6% en Guerrero. De modo que, el estado de Oaxaca debe ser una prioridad con respecto a la implementación de estrategias y políticas públicas tanto de mitigación como de adaptación, siendo otras entidades relevantes Veracruz, Chiapas y Guerrero.

En cuanto a la hipótesis, durante todo el trabajo se pudo comprobar que La vulnerabilidad social y territorial al cambio climático a nivel municipal en México si sigue patrones específicos que se relacionan con características territoriales particulares, sin embargo, estos patrones no concuerdan con los planteados por Novillo (2018). Los resultados en el análisis tanto estadístico como territorial de cada una de las variables planteadas con los datos obtenidos de las fuentes oficiales muestran, por ejemplo, que el tamaño de los asentamientos no se correlaciona de manera directa con mayor vulnerabilidad exceptuando con las inundaciones, donde a mayor tamaño de asentamiento, mayor vulnerabilidad de los asentamientos humanos a las inundaciones.

En cuanto a la premisa de que a mayor altura mayor es el grado de la vulnerabilidad se puede observar una ligera correlación estadística con el grado de vulnerabilidad

de asentamientos humanos a deslaves, misma situación que con el aumento del Índice de Vulnerabilidad Social al Cambio Climático. No obstante, la vulnerabilidad es inversamente proporcional con el grado de vulnerabilidad al incremento futuro del dengue y de los asentamientos humanos a las inundaciones, donde a mayor altura menor es el grado de vulnerabilidad.

Para los municipios costeros y del Caribe solo se puede comprobar la existencia de un mayor grado de vulnerabilidad ante el posible incremento de dengue en diversas zonas del país. Mientras tanto, para la existencia de Atlas Municipal de Riesgos solo existe una ligera correlación estadística y la tasa de camas censables de hospital por cada 1 mil habitantes no se correlaciona con ningún grado de vulnerabilidad.

Por último, la tasa de camas censables por cada 1 mil habitantes no se correlaciona con ningún grado de vulnerabilidad, el grado de bajo o muy bajo acceso a carreteras pavimentadas tiene una ligera correlación estadística con los diversos grados de vulnerabilidad, siendo con los deslaves su mayor correlación. Paralelamente, el grado de marginación tiene una ligera correlación el aumento del dengue y los deslaves, siendo mayor con las inundaciones y nulo con el IVSCC. Por lo que se demuestra que las variables aisladas no siempre se comportan de la manera esperada al correlacionarse con los diversos índices de vulnerabilidad al cambio climático.

Se puede inferir de cada uno de los análisis anteriores las necesidades especiales en cuanto al diseño e instrumentación de políticas públicas que permitan no solo la adaptación a los efectos del cambio climático, sino también diseñar estrategias de mitigación que permitan disminuir los impactos a la población y a la infraestructura. Dichas estrategias son cruciales para enfrentar estos desafíos y proteger a las comunidades vulnerables en el país, a partir de la cooperación institucional y de los tres órdenes del de gobierno.

Es prioridad la implementación de políticas públicas basadas en estudios científicos que midan los efectos pasados, presentes y esperados del cambio climático. Por

tanto, es de suma importancia la creación de bases de datos fidedignas de eventos y desastres relacionadas de manera directa o indirecta con el cambio climático y el registro de los diversos daños provocados por los mismos, así como realizar estudios de vulnerabilidad ante estos en la región.

Así mismo, es necesario generar más investigaciones científicas que permitan medir de forma confiable los impactos reales de este fenómeno, en particular en sus efectos en fenómenos extremos los cuales están modificando su frecuencia y severidad. Por tanto, el uso de los programas de análisis espacial y estadístico, así como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) es muy importante, ya que permiten generar investigaciones cuantitativas con datos de fuentes oficiales y georreferenciados para el correcto análisis espacial y estadístico de los sus resultados.

## Bibliografía

AEAC.SV. (2021). *La agricultura y el cambio climático*. España. Asociación Española Agricultura de Conservación. Suelos Vivos. Recuperado de [https://ecaf.org/wp-content/uploads/2021/02/Agricarbon\\_ficha1.pdf](https://ecaf.org/wp-content/uploads/2021/02/Agricarbon_ficha1.pdf)

Aguilar, A. G. (2000). Los asentamientos humanos y el cambio climático en México. Un escenario futuro de vulnerabilidad regional. En: C. Gay (comp.) *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Resultados de los estudios de la vulnerabilidad del país*, (pp. 129-144), México: INE, SEMARNAP, UNAM, U.S. Country Studies Program.

Aguilar, A. G. (2007). Los asentamientos humanos y el cambio climático global. PAOT. Recuperado de: [https://paot.org.mx/centro/ceidoc/archivos\\_/pdf\\_/ASENTAMIENTOS\\_HUMANOS.pdf](https://paot.org.mx/centro/ceidoc/archivos_/pdf_/ASENTAMIENTOS_HUMANOS.pdf)

Álvarez, J. (2010). El cambio climático y el desarrollo. *Ingeniería industrial*. (28), 25-39. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428494003>

Ambrus, S. (2018, junio 6). La amenaza del cambio climático para el turismo caribeño. *Banco Interamericano de Desarrollo BID*. Recuperado de: <https://blogs.iadb.org/ideas-que-cuentan/es/la-amenaza-del-cambio-climatico-para-el-turismo-caribeno/>

Arno van den Bos (2023). *Estrategias generales para avanzar hacia cero emisiones netas*. Alianza para la Acción Climática. Juntos por cero emisiones. Ciudad de México, México. Recuperado de: [https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/guia\\_de\\_estrategias\\_generales\\_para\\_cero\\_emisiones\\_aca\\_2023.pdf](https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/guia_de_estrategias_generales_para_cero_emisiones_aca_2023.pdf)

BADESNIARN (2024). Base de Datos Estadísticos BADESNIARN. Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. Recuperado de: [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia\\_mce/html/S\\_ESTADOS/index\\_entidad.htm](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/S_ESTADOS/index_entidad.htm)

Banco Mundial (2009). *Informe sobre el desarrollo mundial 2010. Desarrollo y cambio climático. Panorama general, versión preliminar. Un nuevo clima para el desarrollo*. Estados Unidos de América: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial. Recuperado de: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/985501468170350669/pdf/530770WDR00SPA00Box0361490B0PUBLIC0.pdf>

Banco Mundial (2023a, agosto 2). El cambio climático también es una cuestión de salud. *Banco Mundial*. Recuperado de: 250

<https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2023/08/02/el-cambio-climatico-tambien-es-una-cuestion-de-salud>

Banco Mundial (2023b, abril 3). Desarrollo urbano. Panorama General. *Banco Mundial*. Recuperado de: <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview#:~:text=En%20la%20actualidad%2C%20alrededor%20del,10%20personas%20vivir%20en%20ciudades>.

Banco Mundial (2024, enero). Agricultura inteligente con respecto al clima. *Banco Mundial*. Recuperado de: [https://www.bancomundial.org/es/topic/climate-smart-agriculture#:~:text=La%20agricultura%20tambi%C3%A9n%20es%20un,de%20efecto%20invernadero%20\(GEI\)](https://www.bancomundial.org/es/topic/climate-smart-agriculture#:~:text=La%20agricultura%20tambi%C3%A9n%20es%20un,de%20efecto%20invernadero%20(GEI)).

Bárcena, A., Samaniego, J., Galindo, L.M., Carbonell, J.F., Alatorre, J.E., Stockins, P., Reyes, O., Sánchez, L. y Mostacedo, J. (2018). *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Una visión gráfica*. Chile: CEPAL y Naciones Unidas. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/42228-la-economia-cambio-climatico-america-latina-caribe-vision-grafica>

Bárcena, A., Samaniego, J., Peres, W. y Alatorre, J.E. (2020). *La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe: ¿seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?* Chile: CEPAL. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45677-la-emergencia-cambio-climatico-america-latina-caribe-seguimos-esperando-la>

Barton, J. R., (2009). Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades-regiones. *Revista de Geografía Norte Grande*. (43), 5-30. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30011632001>

Barry, R.G y Chorley, R.J. (1999). *Atmósfera, tiempo y clima (7° Edición)*. España: Ediciones Omega, S. A.

Batista, J.L. (2014). Resiliencia al cambio climático. *Revista Voluntad Hidráulica*, 111, 13-21. Recuperado de: <https://aprenderly.com/doc/3353588/batista-silva--j.-l.--2014---%E2%80%9Cresiliencia-al-cambio-clim%C3%A1>

Beduschi, L. (2023). Territorios rurales sostenibles. En Gobierno de México, *Memoria del Foro Nacional Seguridad Alimentaria y Cambio Climático* (pp. 17). México: Gobierno de México. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/733518/Luiz\\_Beduschi\\_FA\\_O\\_Territorios\\_Rurales\\_Sostenibles\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/733518/Luiz_Beduschi_FA_O_Territorios_Rurales_Sostenibles_.pdf)

- Borrás, S. (2006). Refugiados ambientales: el nuevo desafío del derecho internacional del medio ambiente. *Revista de Derecho*, 19(2), 85-108. Recuperado de: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-09502006000200004](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-09502006000200004)
- Botello, A.V., Villanueva-Fragoso S., Gutiérrez J., y Rojas J.L. (2010). *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*. México, Gobierno del Estado de Tabasco. SEMARNAT-INE, UNAM- ICMYL, Universidad Autónoma de Campeche.
- CAF (2013). *Programa de Adaptación al Cambio Climático*. Venezuela: Corporación Andina de Fomento. Banco de Desarrollo de América Latina. Recuperado de: [https://www.caf.com/media/8167/caf\\_programa\\_adaptacion\\_cambio\\_climatico.pdf](https://www.caf.com/media/8167/caf_programa_adaptacion_cambio_climatico.pdf)
- CAF (2014). *Índice de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la región de América Latina y el Caribe*. Venezuela: Corporación Andina de Fomento. Banco de Desarrollo de América Latina. Recuperado de: <https://bvearmb.do/bitstream/handle/123456789/3039/caf-indice-vulnerabilidad-cambio-climatico.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CAF (2023, noviembre 21). Efectos del cambio climático en América Latina y el Caribe. *Corporación Andina de Fomento, Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe*. Recuperado de: <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2023/11/efectos-del-cambio-climatico-en-america-latina-y-el-caribe/>
- CAF (2024). *Estrategia para apoyar el crecimiento y la consolidación de una industria turística sostenible en América Latina y el Caribe*. Venezuela: Corporación Andina de Fomento y Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe.
- Calderón A., Francisco N. y López, R. (2021) *Índice de vulnerabilidad al cambio climático en la República de Panamá*. Panamá: Ministerio de Ambiente, Dirección de Cambio Climático. Recuperado de: <https://dcc.miambiente.gob.pa/wp-content/uploads/2021/07/Indice de Vulnerabilidad al Cambio Climatico.pdf>
- Cárdenas, M. (2010). *México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación*. México: Greenpeace. Recuperado de: <https://www.greenpeace.org/static/planet4-mexico-stateless/2020/01/173a95d4-vulnerabilidad-mexico-cambio-climatico.pdf>

- Cárdenas, M.J. (2010b). Costos económicos del cambio climático en México. En M.J. Cárdenas, *México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación* (pp. 46-50). México: Greenpeace México. Recuperado de: <https://www.greenpeace.org/static/planet4-mexico-stateless/2020/01/173a95d4-vulnerabilidad-mexico-cambio-climatico.pdf>
- Casas, A. y Moreno, A.I. (2014). Seguridad alimentaria y cambio climático. *Leisa Revista de Agroecología*, 30(4): 5-7. Recuperado de <https://leisa-al.org/web/revista/volumen-30-numero-04/seguridad-alimentaria-y-cambio-climatico-en-america-latina/>
- Castro, J. (2021, agosto 9). Recursos hídricos: América Latina y El Caribe al 2050. *iaqua*. Recuperado de: <https://www.iaqua.es/blogs/juan-carlos-castro-vargas/recursos-hidricos-america-latina-y-caribe-al-2050-0>
- CEPAL (2001). *Vulnerabilidad y Medio Ambiente*. Chile, CEPAL. Recuperado de: [https://www.buyteknet.info/fileshare/data/ana\\_pla\\_sis\\_amb/Vul\\_medio%20ambiente.pdf](https://www.buyteknet.info/fileshare/data/ana_pla_sis_amb/Vul_medio%20ambiente.pdf)
- CEPAL (2009). *Impactos del cambio climático y del calentamiento global en el desarrollo regional sustentable de la Patagonia: nuevos desafíos para las políticas públicas preferenciales*. Chile: CEPAL.
- CEPAL (2010). *Efectos del cambio climático sobre la agricultura*. Belice: CEPAL. Recuperado de: [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/847C4BD7D5FB591E05257DA5005B6A70/\\$FILE/1\\_pdfsam\\_LCmexL962\\_es.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/847C4BD7D5FB591E05257DA5005B6A70/$FILE/1_pdfsam_LCmexL962_es.pdf)
- CEPAL, FAO y PMA (2022). *Hacia una seguridad alimentaria y nutricional sostenible en América Latina y el Caribe en respuesta a la crisis alimentaria mundial*. Chile: CEPAL, FAO y PMA. Recuperado de <https://www.cepal.org/es/publicaciones/48531-seguridad-alimentaria-nutricional-sostenible-america-latina-caribe-respuesta-la>
- CENAPRED (2024). Cobertura de Atlas Municipales. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Recuperado de: <https://rmqir.proyectomesoamerica.org/portal/apps/opsdashboard/index.html#/3e7adf434b834775b11ca7504d62bfe6>
- CENAPRED (2017). Impacto socioeconómico de desastres de 2000 a 2015. Datos y Recursos. Recuperado de: <https://www.datos.gob.mx/busca/dataset/impacto-socioeconomico-de-desastres-de-2000-a-2015>

Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (2018). *Marco de evaluación de la vulnerabilidad*. Chile: FONDAP. Recuperado de: <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/05/Marco-de-evaluacion-de-vulnerabilidad.pdf>

Cisneros-Montemayor A., Albas M., Palacios-Abrantes J. y González-Espinoza P.C. (2020). Análisis espacial de efectos anticipados del cambio climático sobre la pesca en México: Un panorama para la adaptación. *Ciencia Pesquera* 28(1-2), 31-44. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/613551/03\\_Ciencia\\_Pesquera\\_28.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/613551/03_Ciencia_Pesquera_28.pdf)

Clarke, B. y Otto, F. (2022). *Como informar sobre fenómenos meteorológicos extremos. Manual para periodistas*. Inglaterra: World Weather Attribution.

Comisión Europea (Junio, 2018). El nuevo Atlas mundial de la desertificación revela una presión sin precedentes sobre los recursos naturales del planeta. En Comunicado de prensa dirigido por Comisión Europea, Bruselas.

CONAHCYT (2023). *Energía y transformaciones desde lo local en la discusión climática. VI Propuestas para un sistema energético mexicano justo y sustentable. Resumen ejecutivo para tomadores de decisiones*. México, Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnologías. Programa Nacional Estratégico. Energía y cambio climático. Recuperado de: [https://conahcyt.mx/wp-content/uploads/publicaciones\\_conacyt/energia\\_y\\_cc/PB6\\_ACTU\\_05\\_01\\_2024.pdf](https://conahcyt.mx/wp-content/uploads/publicaciones_conacyt/energia_y_cc/PB6_ACTU_05_01_2024.pdf)

CONAPO (2020) Índice de marginación por municipio 2020. México: Consejo Nacional de Población, Recuperado de: <https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372>

Conde, C. (2007). *México y el cambio climático global*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Cecadesu/Libros/Mexico%20y%20el%20cambio%20climatico.pdf>

Conde-Álvarez, C. y Saldaña-Zorrilla, S. (2007). Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación. *Revista Ambiente y Desarrollo*. 23(2): 23-30. Recuperado de: [https://research.fit.edu/media/site-specific/researchfitedu/coast-climate-adaptation-library/latin-america-and-caribbean/regional---latin-am-amp-caribbean/Conde--Saldana.--2007.--Impacts,-Vulnerability--Adaptation-due-to-CC-in-Latin-America-and-the-Caribbean.--\[ESP\].pdf](https://research.fit.edu/media/site-specific/researchfitedu/coast-climate-adaptation-library/latin-america-and-caribbean/regional---latin-am-amp-caribbean/Conde--Saldana.--2007.--Impacts,-Vulnerability--Adaptation-due-to-CC-in-Latin-America-and-the-Caribbean.--[ESP].pdf)

- Conde, C. (2010). El cambio climático observado. En M.J. Cárdenas, *México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación* (pp. 51-56). México: Greenpeace México. Recuperado de: <https://www.greenpeace.org/static/planet4-mexico-stateless/2020/01/173a95d4-vulnerabilidad-mexico-cambio-climatico.pdf>
- CONEVAL (2021). *Grado de accesibilidad a carretera pavimentada. Documento metodológico*. México: Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. Recuperado de: [https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Documents/Accesibilidad\\_carretera/2020/Documento\\_metodologico\\_GACP\\_2020.pdf](https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Documents/Accesibilidad_carretera/2020/Documento_metodologico_GACP_2020.pdf)
- Constantino, P. (2024, julio 6). Los huracanes más destructivos que han impactado a México. *El Economista*. Recuperado de: [https://www.economista.com.mx/politica/Los-huracanes-mas-destructivos-que-han-impactado-a-Mexico-20240705-0062.html#:~:text=1.%2D%20Hurac%C3%A1n%20Wilma%20\(2005,en%20varias%20ocasiones%20costas%20mexicanas.](https://www.economista.com.mx/politica/Los-huracanes-mas-destructivos-que-han-impactado-a-Mexico-20240705-0062.html#:~:text=1.%2D%20Hurac%C3%A1n%20Wilma%20(2005,en%20varias%20ocasiones%20costas%20mexicanas.)
- Córdoba, H. (2020). Vulnerabilidad y gestión del riesgo de desastres frente al cambio climático en Piura, Perú. *Semestre Económico*. 23(54):85-112. Recuperado de: <https://revistas.udem.edu.co/index.php/economico/article/view/3152>
- Da Cruz, G. (2009). Cambio climático y turismo: posibles consecuencias en los destinos turísticos de Bahía-Brasil. *Estudios y Perspectivas en Turismo*. 18 (4): 476-489. Recuperado de: [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1851-17322009000400007](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1851-17322009000400007)
- Da Silva, E y Marengo, J. (2020). Desafío e impacto del cambio climático en el turismo. El escenario brasileño. *Estudios y Perspectivas en Turismo*. 29: 864-885. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/1807/180764278002/>
- Dascal, G. (2012). *La vulnerabilidad de las tierras desertificadas frente a escenarios de cambio climático en América Latina y el Caribe*. Chile: CEPAL. Recuperado de: <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/5643d1ee-f946-488a-970d-940cb2aa5034>
- Del Prado, A. y Manzano, P. (2020). *La ganadería y su contribución al cambio climático*. España: Amigos de la tierra y Basque Centre for Climate Change. Kila Aldaketa Ikergai. Recuperado de: <https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2020/09/Informe-Ganaderia-Cambio-climatico-Amigos-de-la-Tierra.pdf>

- De Miguel, T. y Galindo, J. (2021, noviembre 1). El destructivo impacto del cambio climático en México. *El País*. Recuperado de: <https://elpais.com/mexico/2021-11-02/el-destructivo-impacto-del-cambio-climatico-en-mexico.html>
- Del Valle, J. (2014). El cambio climático: reflexiones tras la cumbre de Varsovia. *Instituto Español de Estudios Estratégicos*. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7600033>
- Desinventar (2020). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction. Recuperado de: <https://db.desinventar.org/DesInventar/about.jsp?lang=ES>
- Díaz G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad*. 38 (2): 227-240. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87024179004>
- Dirección General de Información en Salud (2024). Recursos en Salud. Datos Abiertos. Recuperado de: [http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/basesdedatos/da\\_recursos\\_gobmx.html](http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/basesdedatos/da_recursos_gobmx.html)
- DOM (2014, abril 28). *Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC)*. México: Diario Oficial de la Federación, Segunda Sección-Vespertina. Recuperado de: [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5342492&fecha=28/04/2014#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342492&fecha=28/04/2014#gsc.tab=0)
- Dodman, D. (2010). La urbanización y el riesgo del cambio climático. *En Informe Mundial sobre Desastres 2010*. Suiza: Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja. Recuperado de: [https://www.saludydesastres.info/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=262&Itemid=](https://www.saludydesastres.info/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=262&Itemid=)
- Durán, D. (2023, abril 23). Los incendios forestales aumentarán su frecuencia en América Latina. *Infoabe*. Recuperado de: [https://www.infobae.com/tendencias/2023/04/26/los-incendios-forestales-aumentaran-su-frecuencia-en-america-latina/#:~:text=Los%20niveles%20actuales%20de%20incidencia,y%20la%20Cultura%20\(UNESCO\).](https://www.infobae.com/tendencias/2023/04/26/los-incendios-forestales-aumentaran-su-frecuencia-en-america-latina/#:~:text=Los%20niveles%20actuales%20de%20incidencia,y%20la%20Cultura%20(UNESCO).)
- Merino, A. (2022, enero 18). La evolución de la temperatura global desde 1950. *El Orden Mundial EOM*. Recuperado de: <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/evolucion-temperatura-global/>
- ENCC (2013). Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40. *Gobierno de la República*, México. Recuperado de:

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/41978/Estrategia-Nacional-Cambio-Climatico-2013.pdf>

Endesa (2023, septiembre 19). ¿Qué son los fenómenos meteorológicos extremos? *Endesa*. Recuperado de: <https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/fenomenos-metereologicos> (Nota periodística).

Enríquez, D.J. (2022). De la vulnerabilidad social, a la vulnerabilidad del cambio climático: una asociación espacial en el periurbano sur de Quito. *URBS. Revista de Estudios Urbanos y Ciencias Sociales*. 12(2): 19-31. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8658351>

Estrada, F., Zavala J., Martínez, A., Raga G. y Gay C. (2023). *Estado y perspectivas del cambio climático en México: un punto de partida*. México: Programa de Investigación en Cambio Climático e Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático. Recuperado de: <https://cambioclimatico.unam.mx/estado-y-perspectivas-del-cambio-climatico-en-mexico/>

Estrada F. (2023). Escenarios de cambio climático que contribuyen a la seguridad alimentaria. En Gobierno de México, *Memoria del Foro Nacional Seguridad Alimentaria y Cambio Climático* (21). México: Gobierno de México. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/859926/ForoSeguridadAlimentaria\\_26sep.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/859926/ForoSeguridadAlimentaria_26sep.pdf)

Ezcurra, E. (2010). Impactos del cambio climático en los ecosistemas marinos. En M.J. Cárdenas, *México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación* (pp. 12-18). México: Greenpeace México. Recuperado de: <https://www.greenpeace.org/static/planet4-mexico-stateless/2020/01/173a95d4-vulnerabilidad-mexico-cambio-climatico.pdf>

FAO (2007). *Cambio Climático y Seguridad Alimentaria: un documento marco*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de: <https://www.fao.org/4/i0145s/i0145s00.htm>

FAO (2017). *La estrategia de la FAO sobre el cambio climático*. Roma: FAO. <https://www.bosquesandinos.org/wp-content/uploads/2017/08/FAO-estrategia-cc.pdf>

FAO (2018). Soluciones ganaderas para el cambio climático. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura. Recuperado de: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/4c38936f-8175-4752-bb66-32710168079e/content>

- FAO y CESSO (2021). Cambio climático- Manual práctico para la pesca artesanal y la acuicultura a pequeña escala en Chile. Chile: FAO y CESSO. Recuperado de: [Cambio climático - Manual práctico para la pesca artesanal y la acuicultura a pequeña escala en Chile - Edición revisada \(fao.org\)](#)
- FAO (S/A). La pesca y la acuicultura frente al cambio climático. FAO Recuperado de: <https://www.fao.org/3/i1072s/i1072s.pdf>
- Favier M., Chi, M., Dehesa L. y Veranes, M. (2019). Efectos del cambio climático en la salud. *Revista Información Científica*. 98 (2): 272-282. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=551760346014>
- Fernández, F. (2009). Ciudad y cambio climático: Aspectos generales y aplicación al área Metropolitana de Madrid. *Investigaciones Geográficas (Esp)*. 49: 173-180. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17617034009>
- Fernández S., Ronquillo L. y Cuerdo M.T. (2023). El impacto del cambio climático en la salud: una aproximación desde el contexto urbano con enfoque One Health. *Revista Salud amient*. 23(1): 56-65. Recuperado de: <https://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/1344>
- Ferreya V. y Santos L. (2021). *Guía Rápida para la integración de la adaptación al cambio climático en la hotelería*. México: Proyecto ADAPTATUR.
- Forbes (2023, octubre 13). El 5% de los cultivos mundiales y el ganado se pierden por eventos climáticos extremos: FAO. *Forbes*. Recuperado de: [https://www.forbes.com.mx/el-5-de-los-cultivos-mundiales-y-el-ganado-se-pierden-por-eventos-climaticos-extremos-fao/#:~:text=Los%20eventos%20climáticos%20extremos%20provocan,y%20la%20Agricultura%20\(FAO\)](https://www.forbes.com.mx/el-5-de-los-cultivos-mundiales-y-el-ganado-se-pierden-por-eventos-climaticos-extremos-fao/#:~:text=Los%20eventos%20climáticos%20extremos%20provocan,y%20la%20Agricultura%20(FAO))
- Forbes (2024, enero 19). Seguridad energética de México está en riesgo por tormenta en Norteamérica: industria. *Forbes*. Recuperado de: <https://www.forbes.com.mx/seguridad-energetica-de-mexico-esta-en-riesgo-por-tormenta-en-norteamerica-industria/>
- Flores, N. (2023, abril 11). Cambio climático y glaciares en América Latina: cómo afecta el deshielo en los países de la región. *Página 12*. Recuperado de: <https://www.pagina12.com.ar/517180-cambio-climatico-y-glaciares-en-america-latina-como-afecta-e>
- FMCM (2022). *Escenarios sobre el impacto del cambio climático en la ganadería sostenible/regenerativa en Chihuahua, México*. México: Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. Recuperado de:

[https://fmcn.org/uploads/publication/file/pdf/GANARE/Ganaderia%20y%20Cambio%20Climatico\\_FINAL.pdf](https://fmcn.org/uploads/publication/file/pdf/GANARE/Ganaderia%20y%20Cambio%20Climatico_FINAL.pdf)

Fundación Repsol (2020). *Cambio climático y calidad del aire*. España: Fundación Repsol. Recuperado de: [Zinkers - Cambio climático y calidad del aire \(fundacionrepsol.com\)](https://fundacionrepsol.com)

Gama, L., Díaz, H.M., Collado, R., Macías, M.E., Mata, E.E. y Figueroa, J.M. (2023). Implicaciones de la potencial elevación del nivel del mar para la población costera de Tabasco, México. *Estudios Demográficos y Urbanos*. 38 (112): 283-320. Recuperado de: <https://estudiosdemograficosyurbanos.colmex.mx/index.php/edu/article/view/1999/2500>

García, L., (2009). *Cambios climáticos y efectos ambientales*. España: Universidad Internacional de Andalucía. Recuperado de: <https://dspace.unia.es/handle/10334/3812>

García, V. (2022, octubre 19). Los mexicanos, desprotegidos ante el cambio climático: ¿y ahora, quien podrá defendernos? *El País*. Recuperado de: <https://elpais.com/america-futura/2022-10-19/los-mexicanos-desprotegidos-ante-el-cambio-climatico-y-ahora-quien-podra-defendernos.html>

Gifreu, J. (2018). Ciudades adaptativas y resilientes ante el cambio climático: estrategias locales para contribuir a la sostenibilidad urbana. *Revista Aragonesa de Administración Pública*. 52: 102-158. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6759308>

Godoy, D. (2023). Seguridad alimentaria nutricional y cambio climático. En Gobierno de México, *Memoria del Foro Nacional Seguridad Alimentaria y Cambio Climático*. (13). México: Gobierno de México. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/859926/ForoSeguridadAlimentaria\\_26sep.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/859926/ForoSeguridadAlimentaria_26sep.pdf)

González, L. (2023, noviembre 30). COP-28: México, agricultura y cambio climático. *El Economista*. Recuperado de: <https://www.economista.com.mx/opinion/COP-28-Mexico-agricultura-y-cambio-climatico-20231130-0158.html>

González, M., Jurado, E., González S., Aguirre, O., Jiménez, J. y Navar J. (2003). Cambio climático mundial: Origen y consecuencias. *Ciencia UANL*, 6(3): 377-386. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/402/40260313.pdf>

González, M.E., Lara, A., Urrutia R. y Bosnich J. (2011). Cambio climático y su potencial en la ocurrencia de incendios forestales en la zona centro-sur de

Chile (33°-42° S). *Bosque*. 32(3): 215-219. Recuperado de: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-92002011000300002](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002011000300002)

González, M. (2022, junio 14). Desertificación en México afecta a 51 millones de hectáreas y a 65 millones de personas. *Gaceta UDG*. Recuperado de: <http://www.gaceta.udg.mx/desertificacion-en-mexico-afecta-a-51-millones-de-hectareas-y-a-65-millones-de-personas/>

González, F. (2023, julio 7). México registra las temperaturas más altas en América Latina. *WIRED*. Recuperado de: <https://es.wired.com/articulos/mexico-registra-las-temperaturas-mas-altas-en-latinoamerica>

Graizbord, B., González R. y González J.L (2010). Migración y cambio climático. En M.J. Cárdenas, *México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación* (pp. 19-23). México: Greenpeace México. Recuperado de: <https://www.greenpeace.org/static/planet4-mexico-stateless/2020/01/173a95d4-vulnerabilidad-mexico-cambio-climatico.pdf>

Gran, J.A. (2020). El impacto de la urbanización en la distribución socioespacial de la vulnerabilidad al cambio climático. *Letras Verdes-Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*. 27: 134-147. Recuperado de <https://revistas.flacsoandes.edu.ec/letrasverdes/article/view/3961>

Gran, J.A. (2022). Desnaturalizar el cambio climático: repensando la vulnerabilidad climática en contextos urbanos. *Intersticios Sociales. El Colegio de Jalisco*. 23: 373-397. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/358964347> Desnaturalizar el cambio climático Repensando la vulnerabilidad climática en contextos urbanos

Greenpeace y Ojea L. (2018). *Imágenes y datos: Así nos afecta el cambio climático. Cumbre Climática en Polonia, una oportunidad que no podemos perder*. España: Greenpeace. Recuperado de: <https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2018/11/GP-cambio-climatico-LR.pdf>

Guillén, B. y De Miguel, T. (2021, mayo 23). La agonía de los últimos glaciares de México. *El País*. Recuperado de: <https://elpais.com/especiales/2021/la-agonia-de-los-ultimos-glaciares-de-mexico/>

Gutiérrez, M. y Presbítero A. (2023). *Balance regional independiente de cambio climático para América Latina y el Caribe*. México: Independent Global Stocktake e Iniciativa Climática de México. Recuperado de: <https://www.iniciativaclimatica.org/balance-regional-independiente-de-cambio-climatico-para-america-latina-y-el-caribe/>

Gutiérrez y Reyes

Heres D., 2015. *El cambio climático y la energía en América Latina*. Chile: CEPAL. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/39751-cambio-climatico-la-energia-america-latina>

Hernández, L. (2020). *El planeta en llamas. Propuesta ibérica de WWF para la prevención de incendios*. España: WWF España y ANP. Recuperado de: [https://wwfes.awsassets.panda.org/downloads/wwf\\_informe\\_incendios\\_2020\\_el\\_planeta\\_en\\_llamas.pdf](https://wwfes.awsassets.panda.org/downloads/wwf_informe_incendios_2020_el_planeta_en_llamas.pdf)

Hernández, C., Bonales, J. y Ortiz F. (2014). Modelos de vulnerabilidad agrícola ante los efectos del cambio climática. *Revista CIMEXUS*. 9(2): 31-48 (revisar en texto como bobales y Ortiz). Recuperado de: <https://cimexus.umich.mx/index.php/cimexus/article/view/393>

Herrero, A.C., Natenzon, C. y Miño, M.L. (2018). *Vulnerabilidad social, amenazas y riesgos frente al cambio climático en el Aglomerado Gran Buenos Aires*. Argentina: Programa de Ciudades Área de Desarrollo Económico. CIPPEC. Recuperado de: <https://www.cippec.org/publicacion/vulnerabilidad-social-amenazas-y-riesgos-frente-al-cambio-climatico-en-el-aglomerado-gran-buenos-aires/>

Honty, G. (2007). América Latina ante el cambio climático. *Observatorio de la Globalización. Desarrollo, Economía, Ecología y Equidad América Latina-una iniciativa de CLAES*. Recuperado de: [https://www.flacsoandes.edu.ec/web/imagesFTP/1269363645.Honty\\_America\\_Latina\\_frente\\_al\\_cambio\\_climatico.pdf](https://www.flacsoandes.edu.ec/web/imagesFTP/1269363645.Honty_America_Latina_frente_al_cambio_climatico.pdf)

Howard, J. (2014). ¿Qué son las mareas rojas? *National Geographic, Medio Ambiente*. Recuperado de: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-son-las-mareas-rojas>.

Ibarra, J. y Huerta, F. (2016). Cambio climático y predicción de incendios al 2050 en el Bosque La Primavera, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 7(37): 39-50. Recuperado de: <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/50>

Ibarra, R. (2017). El cambio climático y la reforma energética en México entre los compromisos Internacionales.y la realidad nacional. En Hernández, A., Roux, M., García, R. y Alejandro, E. *Reforma en materia de hidrocarburos. Análisis jurídicos, sociales y ambientales en prospectiva* (pp. 103-126). México: Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones Jurídicas y Universidad Autónoma de Tamaulipas. Recuperado de:

<https://biblio.juridicas.unam.mx/bjv/detalle-libro/4308-reforma-en-materia-de-hidrocarburos-analisis-juridicos-sociales-y-ambientales-en-prospectiva>

Ibarra, R. (2018). El impulso de las energías renovables en la lucha contra el cambio climático a través de los certificados ambientales en el sector eléctrico mexicano. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado*. 152 (2018). 569-597. Recuperado de: <https://revistas.juridicas.unam.mx/index.php/derecho-comparado/issue/archive>

Iberdrola (2024). ¿Qué es la desertificación? Descubre sus causas y sus consecuencias. Iberdrola. Recuperado de: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/desertificacion>

IDEAM-UNAL (2018). *La variabilidad climática y el cambio climático en Colombia*. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <https://www.andi.com.co/uploads/variabilidad.pdf>

IFPRI (2009). *Cambio climático. El impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. Estados Unidos de América: Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias, IFPRI. Recuperado de: [https://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/AGRO\\_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf)

INECC (2024). Datos abiertos. Municipios Vulnerables al Cambio Climático. México: INECC. Recuperado de: [https://datos.gob.mx/busca/dataset/vulnerabilidades-definidas-en-el-atlas-de-vulnerabilidad-al-cambio-climatico-anvcc/resource/8b761736-9c3f-4b90-bf16-3bbcba318c83?inner\\_span=True](https://datos.gob.mx/busca/dataset/vulnerabilidades-definidas-en-el-atlas-de-vulnerabilidad-al-cambio-climatico-anvcc/resource/8b761736-9c3f-4b90-bf16-3bbcba318c83?inner_span=True)

INECC (2021). *Municipios vulnerables al cambio climático. Con base en los resultados del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (ANVCC)*. México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, INECC. Recuperado de: <https://www.cmic.org.mx/sectores/medioambiente/nacional/CC/Municipios%20Vulnerables%20al%20CC.pdf>

INECC (2020). Instrumentos de política climática en México por entidad federativa. Datos y Recursos. México: INECC. Recuperado de: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/instrumentos-de-politica-climatica-en-mexico-por-entidad-federativa>

INECC (2019). *Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático*. México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, INECC. Recuperado de:

<https://cambioclimatico.gob.mx/libro-atlas-nacional-de-vulnerabilidad-al-cambio-climatico-anvcc/>

INECC (2018). Mapa de Cuencas Hidrográficas de México, escala 1: 250 000. México: INECC. Recuperado de: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/cuencas-de-inecc>

INECC (2013). *Guía metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad ante el cambio climático*. México: Instituto Nacional de Ecología y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

INEG (2016). Marco Geoestadístico. México: INEGI. Recuperado de: [Instituto Nacional de Estadística y Geografía \(INEGI\)](#)

INEGI (2001). Hipsometría de México escala 1: 4000000. México: INEGI. Recuperado de: <http://adesur.centrogeo.org.mx/layers/geonode%3Aaltimetria>

INEGI (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. México: INEGI. Recuperado de: <https://censo2020.mx/>

INEGI (2024). Archivo histórico de localidades. Datos nacionales. México: INEGI. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/ahl/>

INEGI (2024b) Estadísticas de Salud en Establecimientos Particulares. Datos abiertos. Recuperado de: [https://www.inegi.org.mx/programas/salud/#datos\\_abiertos](https://www.inegi.org.mx/programas/salud/#datos_abiertos)

IPCC (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra: IPCC.

IPCC (2014a). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra: IPCC.

IPCC (2014b). *Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas. Contribución del grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra: IPCC.

IPCC (2014c). *Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resúmenes, preguntas frecuentes y recuadros multicapítulos. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra: IPCC.

IPCC (2019). *Calentamiento global de 1.5°. Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1.5° C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza. Resumen para responsables de políticas. Unidad de apoyo Técnico del Grupo de Trabajo I.* Ginebra: IPCC.

Jensen, K. y Birche, M. (2017). Vulnerabilidad al cambio climático: las inundaciones en la cuenca del arroyo El Gato. La Plata, Argentina. *Revista CIS*. 23: 77-99. Recuperado de: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/130263>

Jiménez M., Matías L., Fuentes, O.A. y Prieto, R. (2007). *Ciclones tropicales. Fascículos*. México: Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cenapred/documentos/fasciculo-ciclones-tropicales>

Jiménez, G., Soto, L., Pérez, E., Kú, J.C., Ayala, A., Villanueva, G. y Alayon, A. (2015). Ganadería y cambio climático: avances y retos de la mitigación y la adaptación en la frontera sur de México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*. 15(30): 51-70. Recuperado de: <https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma/article/view/289>

Jorge-Romero, G., Gianelli, I., Pittman, J. y Defeo, O. (2022). El calentamiento de los océanos ya afecta la vida de muchos latinoamericanos. En Giorgi J. y Torres, I., *Impactos del cambio climático en América Latina y el Caribe* (pp.12-16). Uruguay: Latinoamérica21. Recuperado de: <https://www.iai.int/administrador/assets/images/ckfinder/files/ES-Impactos%20del%20cambio%20clim%C3%A1tico.pdf>

Juárez G. (2023, julio 17). Ganadería sustentable, una asignatura pendiente en México. *Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango*. Recuperado de: <https://www.ganaderia.com/destacado/ganaderia-sustentable-una-asignatura-pendiente-en-mexico>

Lampis, A. (2013). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: debates acerca del concepto de vulnerabilidad y su medición. *Cuadernos de Geografía-Revista Colombiana de Geografía*. 22(2): 17-33. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=281826970001>

Lara D. (2013). *Grupos en situación de vulnerabilidad*. México: Comisión Nacional de Derechos Humanos. Recuperado de: <https://biblioteca.corteidh.or.cr/documento/74071>

- Liedo, B. (2021). Vulnerabilidad. *Eunomía. Revista en Cultura de la Legalidad*. 20: 242-257. Recuperado de: <https://doi.org/10.20318/eunomia.2021.6074>
- Línea Verde (2022). El derretimiento de los glaciares provocado por el calentamiento global. *Línea Verde* Recuperado de: <http://www.lineaverdehuelva.com/lv/consejos-ambientales/El-derretimiento-de-los-glaciares-provocado-por-el-calentamiento-global/El-derretimiento-de-los-glaciares-provocado-por-el-calentamiento-global.pdf>
- Linés, A. (2010). Clima y cambio climático. *Revista del Aficionado a la Meteorología RAM*. 3(26): 1-12. Recuperado de: <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-nacional-autonoma-de-mexico/climatologia/clima-cc-lines-lecture-notes-1-2/12456976>
- León, A. (2023, octubre 25). América Latina y el Caribe, la región del mundo que más tierras “pierde” al año. *Swissinfo*. Recuperado de: [https://www.swissinfo.ch/spa/latinoam%C3%A9rica-desertificaci%C3%B3n\\_am%C3%A9rica-latina-y-el-caribe--la-regi%C3%B3n-del-mundo-que-m%C3%A1s-tierras--pierde--al-a%C3%B1o/48926352](https://www.swissinfo.ch/spa/latinoam%C3%A9rica-desertificaci%C3%B3n_am%C3%A9rica-latina-y-el-caribe--la-regi%C3%B3n-del-mundo-que-m%C3%A1s-tierras--pierde--al-a%C3%B1o/48926352)
- Llanos, H. (2018). El cambio climático y sus efectos. *Anuario Hispano-Luso-Americano de Derecho Internacional 2017-2018*. Recuperado de: <https://www.corteidh.or.cr/tablas/r38930.pdf>
- Llorente, A. (2021, mayo 24). Cuáles son los glaciares que no se derriten en América Latina y por qué. *BBC News Mundo*. Recuperado de: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-57209341>
- López, F. (2001). Cambio climático y desertificación, amenazas para la sostenibilidad de las tierras del Arco Mediterráneo. Situación y perspectiva. *Revista Valenciana D'Estudis Autònomic*. 36: 93-116. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=236193>
- López, A. (2015). *Cambio climático y actividades agropecuarias en América Latina. Estudios del cambio climático en América Latina*. Chile: CEPAL. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/39824-cambio-climatico-actividades-agropecuarias-america-latina>
- López, J. y Moscoso D. (2016). *Cambia la energía, Cambia el Clima. Cambio climático y su impacto en el sector energético*. Ecuador: OLADE, WWF e INTI. Recuperado de: <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0357.pdf>

- López, A, y Hernández D. (2016a). Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El Trimestre Económico, LXXXIII* (4): 459-496. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.20430/ete.v83i332.231>
- López, R. (2020, enero 30). El cambio climático amenaza a los glaciares mexicanos. *Gaceta UNAM*. Recuperado de: <https://www.gaceta.unam.mx/glaciares-mexicanos-a-punto-de-extinguirse/>
- López A.Y., López, I. y Pardo, M. (2022). La importancia del deshielo del Ártico para México. *CIENCIA ergo-sum*. 30(3): 1-31. Recuperado de: <http://doi.org/10.30878/ces.v30n3a2>
- López, P. (2022, enero 27). México ya rebasó los 1.6 grados de aumento en la temperatura. *Gaceta UNAM*. Recuperado de: <https://www.gaceta.unam.mx/mexico-ya-rebaso-los-1-6-grados-de-aumento-en-la-temperatura/>
- Magaña, V.O. y Gay C. (2002). Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos. *Gaceta Ecológica*. 65: 7-23. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53906501>
- Magaña, V.O. (2004). El cambio climático global: comprender el problema. En Martínez J. y Fernández A., *Cambio climático: una visión desde México* (pp. 17-27). México: Instituto Nacional de Ecología y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: [https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/cambio\\_climatico\\_una\\_visio\\_n\\_desde\\_mexico\\_martinez\\_bremauntz.pdf](https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/cambio_climatico_una_visio_n_desde_mexico_martinez_bremauntz.pdf)
- Margulis, S. (2016). *Vulnerabilidad y adaptación de las ciudades de América Latina al cambio climático. Estudios del cambio climático en América Latina*. Santiago: Cepal y Naciones Unidas. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/41041-vulnerabilidad-adaptacion-ciudades-america-latina-al-cambio-climatico>
- Martínez, A. y Bravo, J. (2013). Evaluación de potenciales impactos y reducción de la vulnerabilidad de la pesca y la acuicultura al cambio climático en el Golfo de Fonseca (El Salvador, Honduras y Nicaragua). En Soto, D. y Quiñones, R., *Cambio Climático, pesca y acuicultura en América Latina. Potenciales impactos y desafíos para la adaptación* (pp. 39-102). Chile: FAO. Recuperado de: <https://www.fao.org/4/i3356s/i3356s.pdf>
- Maxwell, A. (2019, junio 5). Contaminación atmosférica en Latinoamérica: oportunidad para abordar el cambio climático y la salud pública. *NRDC Expert*

Blog. Recuperado de: [Contaminación atmosférica en Latinoamérica: oportunidad para abordar el cambio climático y la salud pública \(nrdc.org\)](https://nrdc.org)

Mendoza A., Haro, A., Murray-Tortarolo, G. y Salazar, J.L. (2023). Agricultura y cambio climático en México. En: *Estado y perspectivas del cambio climático en México. Un punto de partida*. Reporte Técnico, Programa de Investigación en Cambio Climático. México: UNAM. Recuperado de: <https://cambioclimatico.unam.mx/wp-content/uploads/2023/10/cambio-climatico-en-mexico-impactos-agricultura.pdf>

Milesi, O. (2016, Agosto 30). Ganadería, oportunidad y amenaza para una América Latina sostenible. *Sitio Argentino de Producción Animal*. Recuperado de: [https://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/origenes\\_evolucion\\_y\\_estadisticas\\_de\\_la\\_ganaderia/183-ganaderia\\_america.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/origenes_evolucion_y_estadisticas_de_la_ganaderia/183-ganaderia_america.pdf)

Mina, M. (2023). Cambio climático y pesca, relación insostenible. Una mirada hacia la gobernanza climática para la sostenibilidad pesquera en Latinoamérica. *InterNaciones*. 10 (24): 121-140. Recuperado de: <https://internaciones.cucsh.udg.mx/index.php/inter/article/view/7238>

Monsalve, M. (2023, noviembre 17). Como si tres Colombias se hubieran degradado; Latinoamérica pierde el 22% de sus tierras fértiles. *El País*. Recuperado de: <https://elpais.com/america-futura/2023-11-17/como-si-tres-colombias-se-hubieran-degradado-latinoamerica-pierde-el-22-de-sus-tierras-fertiles.html>

Montalvo, A. (2023, enero 17). La nueva voz de América Latina en el turismo global. *El País*. Recuperado de: <https://elpais.com/america-futura/2023-01-17/la-nueva-voz-de-america-latina-en-el-turismo-global.html>

Montenegro, D. (2023). La transformación de los sistemas agroalimentarios en tiempos de crisis. En Gobierno de México, *Memoria del Foro Nacional Seguridad Alimentaria y Cambio Climático* (45). México: Gobierno de México. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/859926/ForoSeguridadAlimentaria\\_26sep.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/859926/ForoSeguridadAlimentaria_26sep.pdf)

Monterroso A., Fernández. A., Trejo R.I., Conde A.C., Escandón J., Villers L. y Gay C. (2014). *Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México*. México: Centro de Ciencias de la Atmósfera, Programa de Investigación en Cambio Climático y UNAM. Recuperado de: <https://atlasclimatico.unam.mx/VyA/>

- Morales, F. (2023, enero 30). El campo mexicano ante los retos de la seguridad alimentaria global. *CIMMYT*. Recuperado de: <https://www.cimmyt.org/es/noticias/el-campo-mexicano-ante-los-retos-de-la-seguridad-alimentaria-global/>
- Moreno, A.R., 2010. El cambio climático y la salud humana. En M.J. Cárdenas, *México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación* (pp. 24-25). México: Greenpeace México. Recuperado de: <https://www.greenpeace.org/static/planet4-mexico-stateless/2020/01/173a95d4-vulnerabilidad-mexico-cambio-climatico.pdf>
- Moreno L.R., López, V.G. y Marín, M.E. (2015). Actividad turística y cambio climático en México, 1980-2012. *Revista Internacional Administración & Finanzas*. 8(4). 61-80. Recuperado de: <https://www.theibfr2.com/RePEc/ibf/riafin/riaf-v8n4-2015/RIAF-V8N4-2015-4.pdf>
- Moreno, K. (2023). Indicadores de vulnerabilidad al cambio climático: un estudio en comunidades pesqueras de Tacna, región al sur del Perú. *Revista Kawsaypacha*. 12: 1-22. Recuperado de: <http://www.scielo.org.pe/pdf/kaw/n12/2709-3689-kaw-12-A-013.pdf>
- Moreno, K.A.B. y Delgado, F.W. (2022). Indicadores de vulnerabilidad al cambio climático de comunidades pesqueras: una revisión a nivel mundial, 2012-2022. *Población y Desarrollo*. 28(55): 21-34. Recuperado de: [http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2076-054X2022005500021](http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2076-054X2022005500021)
- Morrillo, M. (2011). Turismo y producto turístico, Evolución, conceptos, componentes y clasificación. *Visión Gerencial*. 1: 135-158. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=465545890011>
- Murray, G. (2022a, junio 13). La ganadería en México frente a la emergencia climática. *Nexos*. Recuperado de: <https://medioambiente.nexos.com.mx/la-ganaderia-en-mexico-frente-a-la-emergencia-climatica/>
- Murray, G. (2022b, octubre 24). Cambio climático y el riesgo para la producción de alimentos en México. *Nexos*. Recuperado de: <https://medioambiente.nexos.com.mx/cambio-climatico-y-el-riesgo-para-la-produccion-de-alimentos-en-mexico/>
- Musseta, P., Barrientos, M.J., Acevedo, E., Turbay, S. y Ocampo, O. (2017). Vulnerabilidad al cambio climático: Dificultades en el uso de indicadores en dos cuencas de Colombia y Argentina. *EMPIRIA. Revista de Metodología de las Ciencias Sociales*. 36: 119-147. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/2971/297149614005.pdf>

- Nahón, C. (2011). *Manual Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático para la Gestión y Planificación Local*. Argentina: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. <https://www.preventionweb.net/publication/manual-vulnerabilidad-y-adaptacion-al-cambio-climatico-para-la-gestion-y-planificacion>
- Nájera, A., Marcelleño, S., Chávez-Dagostino, R., Nájera, O. y, Carrillo F., (2023). Vulnerabilidad costera y cambio climático: propuesta metodológica de prospectiva participativa basada en las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP). *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*. 11(25) Artículo 9, 1-19. <https://revistas.unam.mx/index.php/entreciencias/article/view/84853>
- Than, K. (2023) ¿Cuáles son las diferencias entre un huracán, un tifón y un ciclón? *National Geographic*. Recuperado de: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/huracan-tifon-ciclon-similitudes-diferencias?video=HURRICANESessub1>
- National Geographic (2010). El aumento del nivel del mar. *National Geographic*. Recuperado de: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/el-aumento-del-nivel-del-mar>
- National Geographic (2022, septiembre 19). ¿Por qué aumenta la temperatura del mar? *National Geographic*. Recuperado de: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/el-aumento-de-la-temperatura-del-mar#:~:text=Cuando%20la%20temperatura%20de%20la,de%20mayor%20ama%C3%B1o%20e%20intensidad>
- Nava, C. (2017). Turismo internacional de playa y cambio climático en México. *Revista de la Facultad de Derecho de México*. 58 (250): 337-367. Recuperado de: <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/10/4856/16.pdf>
- Novillo, N. (2018). Cambio climático y conflictos socioambientales en ciudades intermedias de América Latina y el Caribe. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*. 24: 124-142. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.24.2018.3323>
- Ocaña K., y Servín M. (2023). Impacto del incremento del nivel del mar por cambio climático en el diseño de rompeolas. *Instituto Mexicano del Transporte. NOTAS* 204(3). Recuperado de: <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=589&IdBoletin=205#:~:text=Los%20efectos%20de%20aumento%20del,en%20zonas%20costeras%2C%20el%20deterioro>

OCDE, 2020. *Panorama de la Salud: Latinoamérica y el Caribe 2020*. Recuperado de: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/740f9640-es/1/3/5/4/index.html?itemId=/content/publication/740f9640-es&csp=026a4a8a745943c55a04df4eecd4bf10&itemIGO=oecd&itemContentType=book>

OMM (2022, octubre 10). El cambio climático pone en riesgo la seguridad energética. *Organización Meteorológica Mundial*. Recuperado de: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-cambio-clim%C3%A1tico-pone-en-riesgo-la-seguridad-energ%C3%A9tica#:~:text=El%20cambio%20clim%C3%A1tico%20afecta%20directamente,infraestructura%20energ%C3%A9tica%20actual%20y%20futura.>

ONU-HABITAT (2011). *Las ciudades y el cambio climático: Orientaciones para políticas. Informe mundial sobre asentamientos humanos 2011. Resumen Ejecutivo*. Kenia: Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. Recuperado de: <https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/Las%20Ciudades%20Y%20El%20Cambio%20Clim%C3%A1tico%20Orientaciones%20Para%20Pol%C3%ADticas.pdf>

ONU (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Naciones Unidas. Suiza: ONU. Recuperado de: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

ONU (2017). *Los efectos del cambio climático y los cambios atmosféricos conexos en los océanos. Resumen técnico de la primera evaluación integrada del medio marino a escala mundial*. Nueva York: ONU. Recuperado de: [https://www.un.org/regularprocess/sites/www.un.org.regularprocess/files/17-05753\\_s-impacts-of-climate-change.pdf](https://www.un.org/regularprocess/sites/www.un.org.regularprocess/files/17-05753_s-impacts-of-climate-change.pdf)

ONU (2021, agosto 17). Cambio climático: América Latina será una de las regiones más afectadas. *ONU*. Recuperado de: <https://news.un.org/es/story/2021/08/1495582>

ONU (2023, julio 5). La Organización Meteorológica Mundial lanza el informe: “Estado del Clima en América Latina y el Caribe en 2022”. *ONU*. <https://mexico.un.org/es/238928-la-organizaci%C3%B3n-meteorol%C3%B3gica-mundial-lanza-el-informe-estado-del-clima-en-am%C3%A9rica-latina-y>

ONU (2023b). Cómo afecta el cambio climático a los océanos del planeta. *ONU* Recuperado de: <https://www.un.org/es/climatechange/science/climate-issues/ocean->



- Pérez, I. (2019, febrero 6). ¿Consumir o exportar? Seguridad alimentaria en tiempos de cambio climático. *Ciencia UNAM*. Recuperado de: <https://ciencia.unam.mx/leer/834/-consumir-o-exportar-seguridad-alimentaria-en-tiempos-de-cambio-climatico>
- Pessoa, A. y otros, 2022. Apaguemos los incendios para detener el cambio climático. En Giorgi, J. y Torres, I., *Impactos del cambio climático en América Latina y el Caribe* (37-41). Uruguay: Latinoamérica21. Recuperado de: <https://www.iai.int/administrador/assets/images/ckfinder/files/ES-Impactos%20del%20cambio%20clim%C3%A1tico.pdf>
- PNUMA (2007). *El Gran Deshielo*. TUNZA, Revista del PNUMA para los jóvenes. Nairobi, Kenya. Recuperado de: <https://www.agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/05/El-gran-deshielo.pdf>
- PNUMA (2010). *Manual de Capacitación para EAI. Volumen dos, Evaluaciones de vulnerabilidad e impacto para la adaptación al Cambio Climático (Módulo EVI)*. Panamá: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Recuperado de: <http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Manual%20EAI-completo%20BR.pdf>
- PNUMA/Paralatio (2015). *Aportes Legislativos de América Latina y el Caribe en materia de Cambio Climático*. Panamá: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Parlamento Latinoamericano y Caribeño. Recuperado de: [http://www.pnuma.org/publicaciones/Aportes\\_legislativos\\_de\\_ALC\\_final.pdf](http://www.pnuma.org/publicaciones/Aportes_legislativos_de_ALC_final.pdf)
- Portal Ambiental (2023, octubre 18). Las fuertes lluvias y sequías impactan a la agricultura de México. *Portal Ambiental*. Recuperado de: <https://www.portalambiental.com.mx/sabias-que/20231018/las-fuertes-lluvias-y-sequias-impactan-a-la-agricultura-de-mexico>
- Prieto-González, R. (2022). Riesgos hidrometeorológicos en México. En Martínez, P., Corona, B. y Patiño, C., *Cambio climático y riesgos hidrometeorológicos*, (pp. 31-64). México: Fundación Universidad de las Américas. Recuperado de: <https://www.udlap.mx/catedraunesco/libro-cambio-climatico.aspx>
- Querol, X. (2018). *La calidad del aire en las ciudades. Un reto mundial*. España: Fundación Gas Natural Fenosa. Recuperado de: <https://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2018/06/calidad-del-aire-reto-mundial.pdf>
- Ramírez, P. (2020, mayo 6). Incendios forestales en México, ¿efectos del cambio climático? *Greenpeace*. Recuperado de:

<https://www.greenpeace.org/mexico/blog/8341/incendios-forestales-en-mexico-efectos-del-cambio-climatico/>

Ramos, D. (2019). Entendiendo la vulnerabilidad social: una mirada desde sus principales teóricos. *Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*. 7(1): 139-154. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=552364016005>

Ramos, S. y Robles, B. (2022). El principio vulnerabilidad: definición y alcance en el ámbito de la investigación con personas. *Cultura de los Cuidados*. 24(64): 201-306. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8710344>

Raynal-Villaseñor, J.A. (2011). Cambio climático global: una realidad inequívoca. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*. XII(4):421-427. Recuperado de: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432011000400006&script=sci\\_abstract](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432011000400006&script=sci_abstract)

Reyes-Bonilla, H., Díaz-Castro, S.C. y González-Baheza, A. (2020). El incremento del nivel del mar: afectación en costas mexicanas. En Marín, E., Hernández, V., Avilés, G. y Valdivia, R., *Cambio climático adaptación y resiliencia en el noroeste de México*. México: Universidad Autónoma de Baja California. Recuperado de: <https://altexto.mx/cambio-climatico-adaptacion-y-resiliencia-en-el-noroeste-de-mexico-vr64j.html>

Riojas, H. y Hurtado, M. (2010). *Cambio climático e impactos regionales en la salud humana en México*. México: Universidad Iberoamericana Puebla. Repositorio Institucional. Cambio climático.

Rodríguez, H. (2022, noviembre 29). Posidonia, una planta para salvar el mediterráneo. *National Geographic*. Recuperado de: [https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/posidonia-planta-para-salvar-mediterraneo\\_18911](https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/posidonia-planta-para-salvar-mediterraneo_18911)

Rodríguez-Pacheco, F., Jiménez-Villamizar y Pedraza-Álvarez, L.P. (2019). Efectos del cambio climático en la salud de la población colombiana. *Durazary*. 16(2): 319-331. Recuperado de: <https://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/duazary/article/view/3186>

Rodríguez, L., González, C.E., Gourджи, S., Mason-D´Croz, D., Obando-Bonilla, D, Mesa-Diez, J. y Prager, S.D. (2016). Impactos socioeconómicos del cambio climático en América Latina y el Caribe: 2020-2045. *Cuadernos de Desarrollo Rural*. 13(78): 11-34. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11753256001>

- Rodríguez, N. (2018a, diciembre 14). El cambio climático y sus impactos en la salud humana. *Academia Mexicana de Ciencias*. Recuperado de: <https://www.comunicacion.amc.edu.mx/comunicados/el-cambio-climatico-y-sus-impactos-en-la-salud-humana>
- Rodríguez, V. (2018b). *Seguridad energética. Análisis y evaluación del caso de México*. México: CEPAL y Estudios y perspectivas Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/44366-seguridad-energetica-analisis-evaluacion-caso-mexico>
- Rodríguez, Y. (2018c). *Potenciar la resiliencia de las ciudades y sus territorios de pertenencia en el marco de los acuerdos sobre cambio climático y de la Nueva Agenda Urbana*. Chile: CEPAL. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/44218-potenciar-la-resiliencia-ciudades-sus-territorios-pertenencia-marco-acuerdos>
- Ruiz, N. (2011). La definición y medición de la vulnerabilidad social. Un enfoque normativo. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 77: 63-74. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56923353006>
- Ruiz-Corral, J.A., Medina-García, G., Rodríguez-Moreno, V.M., Sánchez-González, J.J., Villavicencio, R., Durán, N., Grageda, J. y García, G. (2016). Regionalización del cambio climático en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 13: 2451-2464. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263144472001>
- Salinas, J.A., Colorado G. y Maya M.E. (2015). Escenarios de cambio climático para México (43-69). En Arreguín F., *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Recuperado de: <https://www.gob.mx/imta/documentos/atlas-de-vulnerabilidad-hidrica-en-mexico-ante-el-cambio-climatico-167655>
- Samaniego, J. (2009). *Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe*. Chile: CEPAL y ONU. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/3640-cambio-climatico-desarrollo-america-latina-caribe-resena>
- Sánchez, A. B. y Dalle, M. (2005). *Cambio climático. Efectos sobre el turismo*. España: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS). Recuperado de: <https://istas.net/descargas/CCTuris.pdf>
- Sánchez, G. (2010). Recursos hídricos y cambio climático. En M.J. Cárdenas, *México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación* (pp. 26-29). México: Greenpeace México. Recuperado de:

<https://www.greenpeace.org/static/planet4-mexico-stateless/2020/01/173a95d4-vulnerabilidad-mexico-cambio-climatico.pdf>

Sánchez, R. (2013). *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina*. Chile: CEPAL. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/36622-respuestas-urbanas-al-cambio-climatico-america-latina>

Sánchez E., Ortiz, M.L. y Mussali-Galante, P. (2017). Implicaciones del cambio climático en la salud humana. *UAEM*. Recuperado de: <http://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/194/201>

Saravia, S. (2022, octubre 27). Panorama de los recursos hídricos en América Latina y el Caribe y propuesta de una transición hídrica sostenible e inclusiva. CEPAL. Recuperado de: [https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/can\\_sesion\\_1\\_saravia\\_matus.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/can_sesion_1_saravia_matus.pdf)

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020, junio 17). Desertificación y sequía, un panorama muy árido. *Gobierno de México*. Recuperado de: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/desertificacion-y-sequia-un-panorama-muy-arido?idiom=es>

Secretaría de agricultura y Desarrollo Rural (2017, junio 11). Crece PIB pesquero 19% gracias al dinamismo del sector: CONAPESCA. *Gobierno de México*. Recuperado de: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/crece-pib-pesquero-19-por-ciento-gracias-al-dinamismo-del-sector-conapesca#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20del%20sector%20pesquero,35%20mil%20millones%20de%20pesos.&text=El%20sector%20pesquero%20demuestra%20un,sin%20considerar%20la%20actividad%20acu%C3%ADcola>.

SECTUR (2014). *Guía local de acciones de alto impacto en materia y mitigación y adaptación al cambio climático en destinos turísticos mexicanos*. México: Secretaría de Turismo. Recuperado de: <https://www.sectur.gob.mx/2017/TuristismoSustentable/CambioClimatico/II.2.3%20Gui%C3%A1%20Local%20de%20Acciones%20de%20Alto%20Impacto%20Cambio%20Clima%CC%81tico%202014.pdf>

SEMARNAT (2009). *Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CD000951.pdf>

- SEMARNAT (2012). Informe de la situación del medio ambiente. En Gobierno de México, México. *Compendio de Estadísticas Ambientales Indicadores Clave y de Desempeño ambiental. Capítulo Suelos*, (pp. 120-154). Recuperado de: <https://www.gob.mx/inecc/documentos/informe-de-la-situacion-del-medio-ambiente-en-mexico-compendio-de-estadisticas-ambientales-indicadores-clave-de-desempeno-ambiental-y-de-crecimiento-verde-edicion-2015>
- SEMARNAT (2013). *Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/41978/Estrategia-Nacional-Cambio-Climatico-2013.pdf>
- SEMARNAT, (2015, noviembre 28). Programa Nacional Manejo Sustentable de Tierras. Para combatir Degradación de Tierras y Desertificación en México. SEMARNAT. Recuperado de: <https://www.gob.mx/Semarnat/documentos/programa-nacional-manejo-sustentable-de-tierras>
- SEMARNAT (2017). *Estrategia Nacional de Calidad del Aire. Visión 2017-2030*. Gobierno de la República. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/195809/Estrategia\\_Nacional\\_Calidad\\_del\\_Aire.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/195809/Estrategia_Nacional_Calidad_del_Aire.pdf)
- SEMARNAT (2018a). México. *Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México: SEMARNAT. Recuperado de: [https://www4.unfccc.int/sites/SubmissionsStaging/NationalReports/Documents/69287541\\_Mexico-BUR2-NC6-2-MEX\\_6aNC\\_Revisada.pdf](https://www4.unfccc.int/sites/SubmissionsStaging/NationalReports/Documents/69287541_Mexico-BUR2-NC6-2-MEX_6aNC_Revisada.pdf)
- SEMARNAT (2018b, mayo 2). Temporada de incendios forestales y su impacto. SEMARNAT. Recuperado de: <https://www.gob.mx/Semarnat/articulos/temporada-de-incendios-forestales-y-su-impacto-153976>
- Serdyukov, M. (2022, agosto 10). Cambio climático: tenemos que adaptar nuestros bosques frente a los incendios forestales. *Organización de las Naciones Unidas*. Recuperado de: <https://news.un.org/es/story/2022/08/1512812>
- Sierra, Y. (2023, abril 3). Aumento de temperatura incrementa número de muertes y enfermedades infecciosas en Sudamérica. *Mongabay Periodismo Ambiental Independiente en Latinoamérica*. Recuperado de: <https://es.mongabay.com/2023/04/aumento-de-temperatura-incrementa-muertes-enfermedades-sudamerica/>

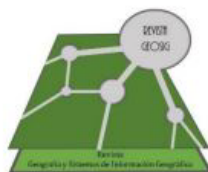
- Singer, F. (2022, agosto 15). Los diez principales desafíos climáticos en América Latina y el Caribe. Desde la zona cero del cambio climático. *El País*. Recuperado de: <https://elpais.com/america-futura/2022-08-15/los-10-principales-desafios-climaticos-en-america-latina-y-el-caribe.html>
- Soares, D. y Gutiérrez, I. (2011). Vulnerabilidad social, institucionalidad y percepciones sobre el cambio climático: un acercamiento al municipio de San Felipe, Costa de Yucatán. *CIENCIA ergo sum*. 18 (3): 249-263. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10420073006>
- Staines, F. (2007). Cambio climático: interpretando el pasado para entender el presente. *Ciencia Ergo Sum*. 14(3): 345-351. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10414313>
- Tello, G. (2013). Vulnerabilidad de la pesca y la acuicultura amazónicas al cambio climático. Perspectiva de la provincia de Loreto, Perú. En Soto, D. y Quiñones, R., *Cambio Climático, pesca y acuicultura en América Latina. Potenciales impactos y desafíos para la adaptación* (pp. 103-182). Chile: FAO. Recuperado de: <https://www.fao.org/4/i3356s/i3356s.pdf>
- Torres, V.M. (2019). Tiempo, clima y los fenómenos atmosféricos: desde torbellinos hasta cambio climático. *Revista Digital Universitaria (RDU)*, 20 (1): 1-13. Recuperado de: [https://www.revista.unam.mx/wp-content/uploads/v20\\_n1\\_a3\\_Tiempo-clima-y-los-fenomenos-atmosfericos-desde-torbellinos-hasta-cambio-climatico.pdf](https://www.revista.unam.mx/wp-content/uploads/v20_n1_a3_Tiempo-clima-y-los-fenomenos-atmosfericos-desde-torbellinos-hasta-cambio-climatico.pdf)
- UPA (2018). *Manual de adaptación frente al cambio climático; ganadería. Programa InfoAdapta-Agri. Unión de Pequeños Agricultores y Ganaderos (UPA)*. España: Fundación Biodiversidad del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Recuperado de: [https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/2018\\_upa\\_cc\\_ganaderia.pdf](https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/2018_upa_cc_ganaderia.pdf)
- UNICEF (2023, octubre 6). América Latina y el Caribe: 2.3 millones de desplazamientos de niños, niñas y adolescentes por desastres relacionados con el clima en seis años. *UNICEF*. Recuperado de: <https://www.unicef.org/mexico/comunicados-prensa/am%C3%A9rica-latina-y-el-caribe-23-millones-de-desplazamientos-de-ni%C3%B1os-ni%C3%B1as-y>
- Ureta, C. (2022, junio 7). Cambio climático y seguridad alimentaria: el caso del maíz en México. *Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático*. Recuperado de: <https://www.atmosfera.unam.mx/cambio-climatico-y-seguridad-alimentaria-el-caso-del-maiz-en-mexico/>

- Valdés, M. (2021). Vulnerabilidad social, genealogía del concepto. *Gazeta de Antropología*. 37 (1): 1-12. Recuperado de: <https://www.gazeta-antropologia.es/?p=5463>
- Vargas, E. (2011). Cambio climático y crisis alimentaria. *PERSPECTIVAS*, 27: 147-160. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=425941231009>
- Vargas, B. (2022). Cambio climático y ciudades: consideraciones para entender las vulnerabilidades. *KORUS* 21. 2 (4): 223-240. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.22136/korpus21202261>
- Vega, A.M. y Rincón, G.J. (2023). *Vulnerabilidad y riego al cambio climático en ciudades de América Latina y el Caribe. Documentos transversales resultado de los proyectos desarrollados en el marco de la Iniciativa LAIF sobre Ciudades y cambio climático*. Venezuela: ATREVÍA. Recuperado de: <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/2057>
- Verdaguer, C. (2013). *Cambio climático, sostenibilidad y urbanismo: un marco de referencia*. España: Red de Ciudades Españolas por el Clima. Recuperado de: [https://oa.upm.es/35568/7/Cambio\\_Climatico\\_Sostenibilidad\\_Urbanismo.pdf](https://oa.upm.es/35568/7/Cambio_Climatico_Sostenibilidad_Urbanismo.pdf)
- Vide, J.M. (2009). Conceptos previos y conceptos nuevos en el estudio del cambio climático reciente. *Investigaciones Geográficas*. 49: 51-63. Recuperado de: <https://www.investigacionesgeograficas.com/article/view/2009-n49-conceptos-previos-y-conceptos-nuevos-en-el-estudio-del->
- Viglizzo, E. (2023). *Ganadería bovina y cambio climático en las Américas: Hacia modelos de desarrollo bajos en carbono*. Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA. Recuperado de: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/21972>
- Viguera, B., Martínez-Rodríguez, M.R, Donatti, C.I., Harvey C.A y Alpízar F. (2017). *El clima, el cambio climático, la vulnerabilidad y acciones contra el cambio climático: Conceptos básicos*. Costa Rica: Materiales de fortalecimiento de capacidades técnicas del proyecto CASCADA. CASCADA. Recuperado de: [https://www.conservation.org/docs/default-source/publication-pdfs/cascade\\_modulo-1-el-clima-el-cambio-climatico-la-vulnerabilidad-y-acciones-contra-el-cambio-climatico.pdf](https://www.conservation.org/docs/default-source/publication-pdfs/cascade_modulo-1-el-clima-el-cambio-climatico-la-vulnerabilidad-y-acciones-contra-el-cambio-climatico.pdf)
- Welz, J y Krellenberg, K. (2016). Vulnerabilidad frente al cambio climático en la Región Metropolitana de Santiago de Chile: posiciones teóricas versus evidencias empíricas. *EURE*. 42(125): 215-272. Recuperado de: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0250-71612016000100011](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612016000100011)

- WHO (2016). *Climate and Health Country Profile-2015 México*. World Health Organization. United States of America: United Framework Convention on Climate Change. Recuperado de: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-FWC-PHE-EPE-15.26>
- World Bank (2011). *Guide to Climate Change Adaptation in Cities*. United States of America: The International Bank for Reconstruction and Development. The World Bank. Recuperado de: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/guidances/guide-to-climate-change-adaptation-in-cities/11237802>
- WWF (2010). *Impactos y vulnerabilidad al cambio climático en México*. México: WWF México. Recuperado de: [https://www.wwfca.org/nuestrotrabajo/clima\\_energia/impacto\\_cambio\\_climatico\\_latinoamerica/](https://www.wwfca.org/nuestrotrabajo/clima_energia/impacto_cambio_climatico_latinoamerica/)
- WWF (2011). *El informe de la energía renovable. 100% de energía renovable para el año 2050*. Suiza: WWF Internacional. Recuperado de: [https://awsassets.wwf.es/downloads/informe\\_de\\_la\\_energia\\_renovable\\_b\\_r.pdf](https://awsassets.wwf.es/downloads/informe_de_la_energia_renovable_b_r.pdf)
- Zamora, M. (2015). Cambio Climático. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 6(31): 4-7. Recuperado de: <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/190#:~:text=El%20cambio%20clim%C3%A1tico%20es%20un,la%20vulnerabilidad%20de%20la%20poblaci%C3%B3n.>

## Anexos

Evidencias de artículo publicado y artículo aceptado.



**Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG).**  
Revista digital del Programa de Docencia e Investigación en  
Sistemas de Información Geográfica (PRODISIG). Universidad  
Nacional de Luján, Argentina.

<http://www.revistageosig.wixsite.com/geosig> (ISSN 1852-8031)

Luján, Año 16, Número 29, 2024, Sección I: Artículos. pp. 1-19.

### **VULNERABILIDAD SOCIAL Y TERRITORIAL AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS MUNICIPIOS DE MÉXICO, 2024**

**Cintia Crespo Cadena – Salvador Adame Martínez**

Universidad Autónoma del Estado de México

[m.e.c.cintiacrespo@gmail.com](mailto:m.e.c.cintiacrespo@gmail.com)

#### **RESUMEN**

El cambio climático y sus afectaciones ya se encuentran presentes en todas las regiones del planeta, por lo tanto, es importante su estudio a partir de variables cuantitativas con datos oficiales y confiables que representen la distribución espacial de sus efectos, así como de la vulnerabilidad resultante de estos. El presente trabajo tiene como objetivo analizar y modelar la vulnerabilidad social al cambio climático en los 2469 municipios de México, a partir de los índices calculados por el INECC para el Atlas Nacional de vulnerabilidad al cambio climático (INECC, 2019) y determinar si existe una asociación entre éste y las variables de la vulnerabilidad del territorio ante el cambio climático identificados por Novillo (2018), a partir del uso de diversos softwares como Excel y SPSS para el análisis estadístico de las variables y SIG como ArcMap para su representación espacial.

**Palabras clave:** Cambio climático; vulnerabilidad; SIG.

#### **ABSTRACT**

Climate change and its effects are already present in all regions of the planet, therefore, it is important to study it using quantitative variables with official and reliable data that represents the spatial distribution of its effects, as well as the resulting vulnerability. of these. The objective of this work is to analyze and model social vulnerability to climate change in the 2,469 municipalities of Mexico, based on the indices calculated by the INECC for the National Atlas of Vulnerability to Climate Change (INECC, 2019) and determine if there is an association between this and the variables of the territory's vulnerability to climate change identified by Novillo (2018), based on the use of various software such as Excel and SPSS for the statistical analysis of the variables and GIS such as ArcMap for its spatial representation.

**Keywords:** Climate change; vulnerability; GIS.



Universidad Autónoma del Estado de México

Toluca, México, 4 de febrero de 2025.

CINTIA CRESPO CADENA  
SALVADOR ADAME MARTÍNEZ  
PRESENTE

El que suscribe, Dr. en C. A. Carlos Alberto Pérez Ramírez, Director Editorial de *Quivera Revista de Estudios Territoriales* (ISSN 2594-102X), órgano de difusión científica de la Universidad Autónoma del Estado de México, el cual se encuentra registrado en los siguientes servicios de indización y bases de datos: Redalyc, Latindex Catálogo 2.0, DOAJ, Dialnet, REDIB, CLASE, Biblat, LatinREV, MIAR, ERIHPLUS, CIRC y Sherpa Romeo, comunica a ustedes que su artículo intitulado "Efectos ambientales y sociales del cambio climático en América Latina y el Caribe 1900-1923" ha sido evaluado mediante el mecanismo doble ciego y ha sido **ACEPTADO PARA SU PUBLICACIÓN** en el volumen 28, número 1, enero-junio 2026, razón por la cual se incorporará al proceso de edición.

Sin más por el momento y agradeciendo su valiosa colaboración, reciba un cordial saludo.

Atentamente

**PATRIA, CIENCIA Y TRABAJO**

*"2025, 195 Años de la Apertura del Instituto Literario en la Ciudad de Toluca"*



DR. EN C. A. CARLOS ALBERTO PÉREZ RAMÍREZ  
DIRECTOR EDITORIAL  
QUIVERA REVISTA DE ESTUDIOS TERRITORIALES

c.c.p. Archivo

Mariano Matamoros Sur s/n esquina Paseo Tollocan, Colonia Universidad C. P. 50130  
Toluca, Estado de México. Tels: (722) 212-1938, 212-9246 y 219-4613  
[www.uaemex.mx](http://www.uaemex.mx)

