

Coordinadores del Proyecto:
Carlos Gay y García / José Clemente Rueda Abad

Grupo II Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación

Coordinación del grupo de trabajo II: Benjamín Ortiz Espejel /
Norma Patricia Muñoz Sevilla / Maxime Le Bail



Editores:
Carlos Gay y García / Angelina Cos Gutiérrez / C. Tatiana Peña Ledón

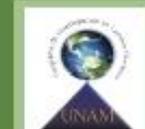
REPORTE MEXICANO DE CAMBIO CLIMÁTICO
Grupo II Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación

REPORTE MEXICANO DE CAMBIO CLIMÁTICO



Impactos, Vulnerabilidad y
Adaptación *Grupo II*

Libros: 1. 2. 3.





**REPORTE MEXICANO
de Cambio Climático**

GRUPO II

**IMPACTOS,
VULNERABILIDAD
Y ADAPTACIÓN**



Reporte Mexicano de Cambio Climático
GRUPO II Impactos, vulnerabilidad y adaptación

ISBN Obra Completa: 978-607-02-7369-8

ISBN Volumen: 978-607-02-7370-4

Universidad Nacional Autónoma De México/
 Programa de Investigación en Cambio Climático

Impreso en México, D.F. el 20 de noviembre de 2015
 Tiraje: 1000 libros

Coordinación General:
 Carlos Gay y García/José Clemente Rueda Abad

Coordinación del volumen:
 Benjamín Ortiz Espejel/Norma Patricia Muñoz Sevilla/Maxime Le Bail

Edición:
 Carlos Gay y García/Angelina Cos Gutiérrez/ Claudia Tatiana Peña Ledón

Diseño editorial y portada:
 Alebrije Diseño: María Elena Vázquez Ávalos/Lydia Ruiz Alanís

Fotografía de portada y foto 2 de contraportada:
 Johan Harders

Foto 1 de contraportada: Liga de internet: <http://www.masivaecologica.com/articulo-17-de-junio-dia-mundial-de-lucha-contra-la-desertificacion-y-la-sequia>, consultado en octubre de 2015.

Impresión:
 Impresos Vacha, S.A. de C.V.

INTRODUCCIÓN

PAG

15 INTRODUCCIÓN

Carlos Gay y García^{1,2}, José Clemente Rueda Abad¹,
 Benjamín Ortiz Espejel⁴, Luis Ricardo Fernández Carril¹,
 Liliana López Morales¹, Maxime Le Bail¹²
 y Claudia Tatiana Peña Ledón⁶.

CAPITULO 1:

PAG

29 BASES PARA LA TOMA DE DECISIONES

Autor líder:
 Fernando Aragón-Durand¹⁷.
 Autoras colaboradoras:
 María Eugenia Ibararán Viniestra⁴
 y Ana Rosa Moreno Sánchez⁸.

CAPITULO 2:

PAG

41 AGUAS CONTINENTALES

Autor Líder:
 Javier Alcocer Durand⁹.
 Autores colaboradores:
 Gloria Vilaclara Fatjo⁹, Oscar A. Escolero Fuentes¹⁰,
 Luisa I. Falcón¹¹, Patricia M. Valdespino¹¹ y Marisa Mazari Hiriart¹¹.

CAPITULO 3:

PAG

59 SISTEMAS OCEÁNICOS

Autor líder:
 Elva Escobar Briones¹⁴.
 Autores colaboradores:
 Christian Salvadeo^{15,16} Mario A. Pardo¹⁷, Fernando Ricardo Elorriaga
 Verplancken¹⁸, Hiram Rosales Nanduca¹⁵, Luis Medrano González¹⁹,
 Gisela Heckel Dziendzielewski¹⁷, Yolanda Schramm Urrutia²⁰,
 Enrique Alejandro Gómez-Gallardo Unzueta¹⁵ y Jorge Urbán Ramírez¹⁷.

CAPITULO 4:

PAG

73 SISTEMAS COSTEROS Y ZONAS INUNDABLES

Autores líderes:
 Norma Patricia Muñoz Sevilla²¹ y Maxime Le Bail¹¹.
 Autores colaboradores:
 Porfirio Álvarez Torres²¹, Diana Cecilia Escobedo Urias²²,
 Apolinar Santamaría-Miranda²², Juan Pablo Apún Molina²²,
 Aida Martínez López²³, Claudia Judith Hernández Guerrero²³,
 Francisco Arreguín Sánchez¹⁹, Alberto Sánchez González¹⁹,
 Sergio Aguiñiga García¹⁹, Enrique Nava-Sánchez¹⁹,
 Roberto Eduardo Mendoza Alfaro²¹, Alberto Pereira Corona²⁴,
 Oscar Frausto Martínez²⁴, Omar Cervantes Rosas²⁵
 y Aramis Olivos Ortiz²⁶.



Capítulo 8

SALUD HUMANA

Autores líderes:

Ana Rosa Moreno Sánchez¹, María de Carmen Calderón Ezquerro²,
Horacio Riojas Rodríguez²⁶, Marisol Anglés Hernández²⁷, Janine Ramsey²⁶.

Autores colaboradores:

Grea Litai Moreno Banda²⁶, Chuc Aburto S.²⁶, David Alejandro Moo Llanes²⁶ y José Francisco Pinto Castillo²⁷.

¹UNAM CCA Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México,

²UNAM Facultad de Medicina Departamento de Salud Pública, ²⁶Secretaría de Salud Instituto Nacional de Salud Pública,

²⁷UNAM Instituto de Investigaciones Jurídicas, Universidad Nacional Autónoma de México,

²¹UNICACH Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, ²⁴INSP CRISP Centro Regional de Investigación en Salud Pública,
Instituto Nacional de Salud Pública.

Palabras clave:

Dengue, modelos de nicho ecológico, enfermedades transmitidas por vector (ETV),
vulnerabilidad, riesgo, eventos extremos, peligros naturales.

Resumen

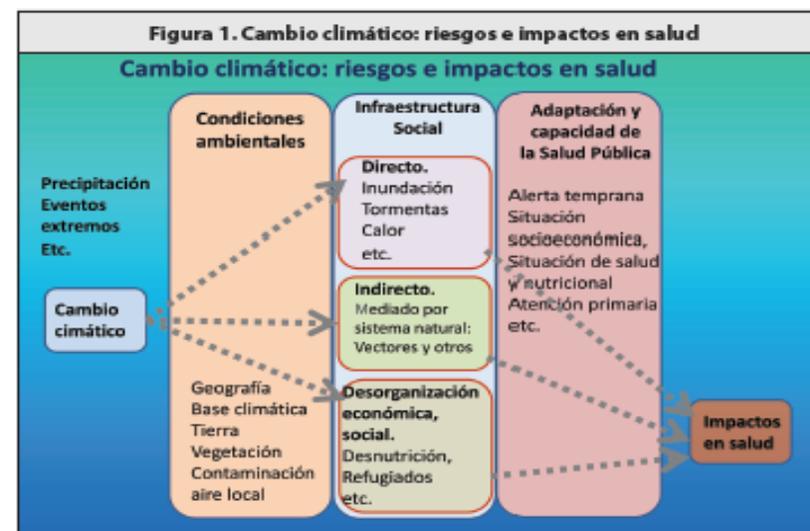
Existen diversas vías a través de las cuales el clima puede afectar a la salud humana. Estas son complejas y sensibles a factores individuales, sociales, económicos y ambientales. En México, los principales problemas identificados son los cambios en la temperatura y condiciones de humedad extrema que conducen a brotes de enfermedades como golpes de calor, enfermedades transmitidas por vector, así como por la ingesta de agua y alimentos. Las condiciones que hacen vulnerable a una población son diversas, y entre ellas están el estado de salud, los ingresos, la educación y la capacidad de respuesta del gobierno, siendo el mejor indicador de vulnerabilidad al cambio climático la tasa existente de enfermedades asociadas con el clima. Los principales temas que se discuten son la disponibilidad y calidad del agua, impactos en la producción de alimentos, cambios en la distribución de vectores, la contaminación del aire, calidad biológica del aire y las herramientas institucionales con las que cuenta el país, necesidades de investigación y conclusiones. Lo anterior, permite poner en perspectiva el problema y cómo la investigación está apoyando en el conocimiento para la toma de decisiones y cuáles son las necesidades, incluyendo aquellas para la instrumentación de políticas públicas de adaptación y mitigación.

1. Antecedentes

Las vías causales por medio de las cuales la salud humana se ve afectada por las manifestaciones del clima son complejas y pueden ser modificadas por factores como enfermedades preexistentes, edad, acceso a servicios de salud, situación económica, ambientes naturales y construidos donde se asientan las poblaciones, así como diversos factores sociales.

Si bien desde 1997 la Organización Mundial de la Salud (OMS), se adhiere a la Agenda Internacional del Cambio Climático, en México es hasta 2009 cuando el sector salud se integra en las discusiones oficiales, lo que significa que el tema ha cobrado cierta relevancia solo recientemente. Los principales hallazgos reportados son eventos climáticos asociados a efectos en la salud de la población mexicana relacionados con temperaturas y condiciones de humedad extremas, que llevan a condiciones para la aparición de brotes de enfermedades como golpes de calor, enfermedades transmitidas por vector (ETV), por agua y alimentos.

Los efectos en México están relacionados a condiciones de la población, tales como su ubicación, situación geográfica, el grado de la degradación ambiental, el perfil epidemiológico y la vulnerabilidad social, raza y etnicidad. En la Figura 1 se señalan los riesgos e impactos a la salud por el cambio climático (Smith et ál., 2014).



Fuente: Modificado de: Smith et ál., 2014, pág. 716

2. Condiciones que hacen vulnerables a las poblaciones ante el clima y sus variaciones

Existen algunos factores que actúan como causas genéricas de la vulnerabilidad, tales como el estado de salud, los ingresos, la educación y la capacidad de respuesta del gobierno. El mejor indicador de vulnerabilidad al cambio climático es la tasa existente de enfermedades relacionadas con el clima. No obstante, las causas precisas de la vulnerabilidad varían de una zona a otra (IPCC, 2014), aunque por diversas razones, todas las regiones en desarrollo son vulnerables a los daños económicos y sociales por el cambio climático (World Bank, 2010).

El lugar específico donde vive una población tiene mucha influencia sobre el potencial de daños a la salud causados por el cambio climático, por ejemplo, los riesgos para las personas que viven en zonas rurales difieren para aquellas de las ciudades.

Algunas condiciones ecológicas pueden influir en la vulnerabilidad, por ejemplo, eventos extremos pueden favorecer la transmisión de ciertas enfermedades infecciosas y la vulnerabilidad de las poblaciones a éstas enfermedades dependerá de los niveles de referencia de los patógenos y sus vectores.

Ciertas condiciones biológicas como edad, como en el caso de niños, jóvenes y ancianos, o enfermedades pre-existentes, propician un mayor riesgo de enfermarse debido a la susceptibilidad biológica.

Otros factores de vulnerabilidad que son de gran importancia para entender y atender los efectos en salud por el cambio climático son diversas condiciones sociales como género, etnicidad, educación, infraestructura, vivienda, acceso a los servicios de salud, y factores económicos como el ingreso, siendo la pobreza una condición grave.

Con base en lo anterior, se puede decir que las medidas de reducción de la vulnerabilidad más eficaces para la salud a corto plazo son los programas que aplican y mejoran las medidas de salud pública básica, como el suministro de agua limpia y saneamiento; asegurar una asistencia sanitaria esencial que comprenda servicios de vacunación y salud infantil; una mayor capacidad de preparación y respuesta frente a los desastres; y el alivio de la pobreza (Smith et al., 2014).

3. Efectos por la disponibilidad y calidad del agua e impactos en la producción de alimentos

3.1 Disponibilidad y calidad del agua

Con el cambio climático un gran número de personas podrían verse afectadas por desnutrición y escasez de agua lo que se considera que pudieran ser las consecuencias sanitarias de mayor gravedad. Por consiguiente, en este siglo existen mayores riesgos de enfermedades transmitidas por alimentos y agua.

Los cambios extremos previstos ante el cambio climático en el país son la alternancia de sequías más intensas y olas de calor, con breves episodios de lluvia intensa (tormentas y granizadas). Dichas variaciones podrían agravar la escasez de agua, agotamiento de acuíferos (Garatuza, Rodríguez y Watts, 2009) e inundaciones, así como aumentar los riesgos de enfermedades transmitidas por el agua (Gobierno del Estado de México, 2009).

El cólera sigue siendo un agente importante en México (Greer y Fisman, 2008). El riesgo de enfermedades transmitidas por el agua es mayor entre los pobres, niños, ancianos, mujeres embarazadas, y las personas inmunocomprometidas (Rose et al., 2001; CCSP, 2008a). Los cambios de temperatura y los ciclos hidrológicos pueden influir en el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua (Curriero et al., 2001; Greer y Fisman, 2008; Harper et al., 2011). Las inundaciones aumentan el potencial de escurrimiento para llevar sedimentos y contaminantes a las fuentes de agua, como diarreas (CCSP, 2008b). Las disparidades en el acceso a agua tratada fueron identificados como un factor determinante de morbilidad en menores de cinco años debido a enfermedades transmitidas por el agua en el Estado de México (Jiménez y Gómez, 2011).

A partir del escenario base se observa una vulnerabilidad baja en las regiones Balsas y Pánuco; en el escenario cálido-húmedo, la región Balsas se vuelve no vulnerable pero la región Pánuco tiene una alta vulnerabilidad. Los modelos para el escenario cálido-seco indican que en las regiones Pánuco y Lerma la vulnerabilidad se vuelve alta, mientras que en la del Balsas es baja (Gobierno del Estado de México, 2009).

Se ha documentado que las extracciones de agua son superiores a los niveles de estrés en el norte y centro del país, en particular en la Ciudad de México (Romero et al., 2014), lo cual puede agravarse en condiciones de cambio climático. Además,

se podrían agravar las consecuencias negativas para la salud por la deficiente calidad del agua y los sistemas de saneamiento inadecuados existentes en el país (Romero, 2010). La preocupación aumenta si se considera que entre el 10 y el 30 % de los sitios de monitoreo de superficie en México tienen agua contaminada (CONAGUA, 2011).

Romero (2010) señala que los usuarios de agua que ya se enfrentan a la escasez recurrente durante la estación seca o cuando la sequía golpee la ciudad de México se verán particularmente afectados. El sector salud podrá perjudicarse por los impactos que se relacionan a la presencia de eventos extremos, donde la salud de la población se ve afectada por la irrupción de agua residual a los sistemas de agua potable, contaminación de suelos, acuíferos y sedimentos, y por consecuencia se hacen presentes enfermedades como hepatitis, criptosporidiasis y giardiasis, entre otras. Para dicho sector, se calcula que podría presentarse un desembolso adicional de 45 billones de pesos para el escenario A2 para el periodo 2008-2050. La inacción plantea que para 2050 se requeriría utilizar el equivalente hasta del 20 % del PIB para gastos en salud (Leal et al., 2008).

Otra de las previsiones señala que en la mayor parte de México, excepto la zona tropical del sur, los suministros de agua se encuentren más estresados por el cambio climático, lo que resultaría en una menor disponibilidad de agua y un aumento de las condiciones de sequía (Romero et al., 2014), lo que tendría impacto en la salud de las poblaciones vulnerables.

3.2 Producción de alimentos

Ante el cambio climático existe el riesgo de pérdida de medios de subsistencia e ingresos en las zonas rurales debido a insuficiente acceso al agua potable, agua para el riego y a una reducida productividad agrícola, afectando principalmente a las familias cuyas siembras son para autoconsumo (Smith et al., 2014). En particular, eventos extremos hidrometeorológicos causan severos daños a los cultivos, a la productividad agropecuaria, erosionan el suelo, saturan los suelos de agua y se presenta un aumento en la mortalidad del ganado. Por ejemplo, los incrementos proyectados de inundaciones pueden afectar la agricultura y la ganadería en el sur tropical de México (Romero et al., 2014).

SAGARPA (2012) ha hecho un análisis sobre algunos de los impactos más importantes en el sector agropecuario que pueden preverse con respecto a las alteraciones de la temperatura y entre estos se encuentra la disminución de los rendimientos de los cultivos en zonas más cálidas debido al aumento de plagas, enfermedades e incendios; el estrés causado por el calor; la reducción en el suministro de agua y problemas en su calidad; así como, florecimiento de algas. Tales daños pueden impactar la disponibilidad, costo y distribución de los alimentos, lo cual afectaría a las poblaciones más vulnerables en cuanto a pobreza, marginación y aislamiento, en particular a los niños pequeños (Cook y Frank, 2008).

4. Cambios en la distribución de vectores

Debido a los cambios en la temperatura y precipitación, resultado del cambio climático puede haber una variación en la distribución y carga de enfermedades transmitidas por vectores (ETV), como el dengue, paludismo, hantavirus (COFEPRIS, 2014) y otra enfermedad de interés reciente es la chikungunya.

Estos cambios afectan tanto a la distribución y la abundancia de las especies de huéspedes vertebrados, así como en la dinámica de poblaciones de vectores y por consiguiente en la transmisión de enfermedades. Lo anterior implica la modificación de procesos ecológicos complejos en los que intervienen factores ambientales y sociodemográficos, que dificulta la predicción de sus dinámicas (COFEPRIS, 2014).

Ramírez-Zepeda et al. (2009) han señalado que si las condiciones ambientales, como la humedad y la temperatura, se mantienen en niveles que favorecen la diseminación de la infección y la población aumenta en forma proyectada, para 2055 aproximadamente 3,200 millones de personas estarán en riesgo de contraer dengue. Por ejemplo, en México, la incidencia de casos de dengue pasó de 5,220 casos en 2003 a 40,559 en 2007, con 1,776 y 7,897 casos de dengue hemorrágico, respectivamente. De

acuerdo con la SSA en Guerrero y Colima se reporta un incremento de 1.5 y 2.0 % en el número de casos de dengue por cada °C de aumento en la temperatura ambiente, respectivamente (COFEPRIS, 2014).

Las primeras investigaciones en México reportaron una asociación estadísticamente significativa entre la temperatura y el aumento del número de casos en los estados de Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Colima, principalmente en épocas de lluvia. Por tal razón, el dengue es una de las principales prioridades de salud pública.

Cuadro 1. Dengue

Ante el cambio climático, se espera un aumento de la incidencia de las ETV, incluyendo el dengue (Morin et al., 2013; Brunkard et al., 2008). México es particularmente vulnerable debido a su topografía, ubicación geográfica y otros factores como la urbanización, la deforestación y el crecimiento relativo de la pobreza. Tradicionalmente, la fiebre del dengue (FD) se consideraba una enfermedad tropical con baja incidencia en la frontera entre México y EUA; sin embargo, existe una variedad de factores que han mostrado la vulnerabilidad, incluyendo las variaciones en la precipitación y la temperatura, el ingreso familiar, la presencia de formas larvarias, la falta de aire acondicionado y el drenaje (Brunkard et al., 2007). Aunado a los vínculos existentes entre el microclima, el fenómeno del Niño y la incidencia del FD (Colón-González et al., 2012; Brunkard et al., 2008; Hurlado-Díaz et al., 2007), se ha sugerido que el cambio climático podría poner en riesgo de transmisión a ciudades con altitud superior a 1,800 (Lozano Fuentes et al., 2012). Además, se ha proyectado que para el 2030, todos los estados costeros presentarán alto riesgo de FD, siendo las regiones pobres y vulnerables las más afectadas (Ríoja Rodríguez et al., 2011).

Cuadro 2. Aplicación de modelos de nicho ecológico para el análisis de ETV y cambio climático

Los modelos de nicho ecológicos han sido aplicados para identificar los requerimientos biológicos y ambientales de la enfermedad de Chagas, dengue, leishmanioses y paludismo en la región Neotropical de México. Se utilizaron las ocurrencias para 1) Chagas (*Triatoma dimidiata* y *Trypanosoma cruzi*); 2) dengue (*Aedes aegypti*, *Aedes albopictus* y virus dengue); 3) leishmanioses (*Lutzomyia cruciata*, *Lutzomyia olmeca olmeca* y *Leishmania* spp.); y 4) paludismo (*Anopheles albimanus*, *Anopheles pseudo punctipennis* y *Plasmodium vivax*) y el Modelo de Circulación General ECHAM5 en los escenarios A2 y B2 en tres periodos (2030, 2050 y 2080). El porcentaje de superficie territorial y población con exposición al vector fueron consistentemente mayores en el escenario A2 y los cambios de cobertura por enfermedad fueron heterogéneos en la región para las especies analizadas. Las proyecciones del peligro por exposición permiten analizar el impacto de las modificaciones ambientales o antropogénicas y proponer estrategias de vigilancia e intervenciones por el sistema de salud pública (Ramsey et al., 2013a). Estos análisis han sido aplicados a nivel estatal (López-Cárdenas et al., 2009; Moo-Llanes et al., 2013) y hasta nivel global.

5. Calidad del aire asociada a agentes químicos y biológicos

5.1 Antecedentes de contaminación del aire en el país

El crecimiento urbano desordenado ha provocado que en varias ciudades del país existan fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos que generan una mala calidad del aire para la salud humana. Si bien las condiciones del aire en la Ciudad de México han mejorado, aún se presenta un porcentaje importante de días donde la norma de calidad del aire de ozono es rebasada y el promedio de concentración media anual de PM10 está por encima de la norma recomendada para la protección de la salud. Además de eso, actualmente el país cuenta con más de 11 ciudades donde la población rebasa el millón de habitantes, las cuales

comienzan a tener problemas similares relacionados con la contaminación del aire. En términos de efectos a la salud, solamente en la ciudad de México se calcula que ocurren 2,000 muertes anuales debido a este problema (Ríoja et al., 2012). Entre los contaminantes presentes en estas zonas metropolitanas destacan dos, tanto por sus altas concentraciones, como por tener importancia desde el punto de vista del cambio climático. Se trata del ozono y de las partículas respirables menores de 2.5 µm; un porcentaje de estas últimas entra dentro de la categoría de carbón negro.

En el contexto de la priorización de elementos que contribuyen al cambio climático, el ozono y el carbón negro entran dentro de los denominados contaminantes de vida corta. Estos son sustancias con una vida relativamente breve en la atmósfera (desde unos días hasta dos décadas) y que tienen un efecto de calentamiento sobre el clima. Los principales contaminantes de vida corta son carbón negro, metano y ozono troposférico, además se consideran contaminantes que generan impactos sobre la salud humana, la agricultura y los ecosistemas. Además, son responsables de una fracción sustantiva de los cambios climáticos experimentados hasta ahora y contribuyen significativamente a la tasa de calentamiento en el corto plazo. De entre estos contaminantes, se han seleccionado al carbón negro y al ozono para ejemplificar el doble efecto que tienen sobre la salud y el cambio climático, así como para visualizar los co-beneficios que se tendrían en el caso de controlar su presencia en la atmósfera.

5.2 Carbón negro

El carbón negro (*blackcarbon* o BC, por sus siglas en inglés) es un componente de las partículas finas (Ver Capítulo de Nubes y aerosoles del Grupo I del Reporte Mexicano de Cambio Climático). En la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) un estudio encontró que la composición elemental de las PM2.5, está representada por 11-12 % de carbón negro, 10-11 % de sulfatos, 10 % de nitratos y 52-55 % de sustancias orgánicas (Salcedo et al., 2006).

En términos de efectos a la salud, los impactos del carbón negro deben contextualizarse dentro de los efectos que producen las PM2.5. Estas últimas se han asociado con un incremento en la mortalidad general, por enfermedades cardiovasculares y respiratorias (Ostro et al., 2006), además se asocian con un incremento en las visitas médicas por crisis asmáticas y en la incidencia de enfermedades respiratorias. Dentro de la fracción respirable, las PM2.5 son las de mayor relevancia por su capacidad de introducirse en los sitios más profundos del sistema respiratorio, es decir, bronquiolos y alveolos (Sanín y Guzmán, 2007). Sus efectos provienen de su capacidad para irritar las mucosas respiratorias, para modificar la respuesta inflamatoria e incluso modificar el ritmo normal del corazón, lo cual es de relevancia para los pacientes con cardiopatía previa.

Algunos estudios han mostrado el efecto específico del carbón negro sobre la mortalidad general y cardiovascular aun cuando se toman en cuenta las concentraciones de PM2.5 (Geng et al., 2013). En un estudio en niños de la Ciudad de México, se encontró un efecto negativo en la función pulmonar por la exposición a este contaminante (Barraza-Villareal et al., 2011). Otros efectos estudiados son los neurocognitivos, encontrando que un incremento de 0.4 mg/m³ en la exposición se asocia con la disminución de 4.0 puntos en el coeficiente intelectual de niños de ocho a once años (Suglia et al., 2008).

5.3 Ozono

El otro contaminante relevante tanto para el tema de cambio climático como el de salud, es el ozono. Las preocupaciones que vinculan al ozono troposférico con el cambio climático, se dan por la creciente evidencia del incremento en el número de días calurosos en las ciudades y por el incremento en los registros de las temperaturas medias y máximas. En escenarios de cambio climático, eso se traduce en mayores probabilidades de contribución de la temperatura sobre las concentraciones de ozono.

El ozono es un contaminante bastante estudiado por sus efectos en la salud. Estos daños se producen básicamente por la capacidad irritante del ozono sobre las células de la mucosa respiratoria, la alteración de la respuesta inflamatoria y por su capacidad de generar radicales libres (Romieu et al., 2008). En poblaciones susceptibles, como los asmáticos, esto funciona como un disparador de crisis y un incremento en la asistencia a las salas de urgencia; además, por estas mismas razones, genera una

mayor propensión a las infecciones de vías respiratorias altas y bajas. En enfermos crónicos, puede incrementar el número de visitas hospitalarias en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica y se ha mostrado que también incrementa el riesgo de cáncer pulmonar. En los niños expuestos crónicamente a este contaminante junto con las partículas respirables, se ha encontrado una asociación con un desarrollo pulmonar incompleto (Rojas et ál., 2007).

Si bien las concentraciones de ozono en la Ciudad de México han disminuido, aún ahora, más del 40 % de los días exceden los máximos permisibles para la protección de la salud y es muy probable que este porcentaje se incremente cuando entre en vigor la nueva norma. La Ciudad de México no es la única que tiene problemas con este contaminante. Las tendencias de las concentraciones han ido a la alza en las zonas metropolitanas de Guadalajara, Monterrey y León. En esta última, las concentraciones crecieron más del 25 % de 2006 al 2009; por ejemplo, durante 2012, las concentraciones en Guadalajara fueron mayores a las de la Ciudad de México, y otras zonas metropolitanas también exceden las normas diarias y anuales de este contaminante (Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, 2014).

Lo antes mencionado, ejemplifica cómo se genera la interacción entre contaminantes atmosféricos, cambio climático y riesgos a la salud. Es por ello que existe un creciente interés a nivel internacional, para generar estudios regionales sobre los contaminantes de vida corta y contribuir a su mitigación. Por ejemplo, un trabajo reciente del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, indica que si se implementaran 16 medidas identificadas para controlar las emisiones de carbón negro, precursores de ozono y metano, se evitarían anualmente alrededor de 2.4 millones de muertes prematuras (UNEP, 2011).

5.4 Calidad biológica del aire y cambio climático en México

La calidad del aire se deteriora por la presencia de diversos tipos de partículas suspendidas en la atmósfera, entre las cuales se encuentran aquellas de origen biológico que pueden significar un riesgo, no solo para la salud humana, sino para la del ambiente.

Diversos pólenes y esporas de hongos pueden influir negativamente en la salud de la población causando alergias y asma, asimismo, la exposición a partículas biológicas, como bacterias, virus, insectos, toxinas, proteínas y otros metabolitos causan efectos a la salud.

El estado de salud de un ecosistema puede determinarse por la cantidad y la calidad de la carga atmosférica generada por el mismo y por aquella que proviene de zonas más lejanas, para lo cual es necesario conocer las partículas biológicas que se encuentran en la atmósfera, no sólo para caracterizar su tipo y nivel de concentración a la que estamos expuestos, sino para identificar el estado de salud del entorno. Para ello, se llevan a cabo investigaciones aerobiológicas (Isard y Gage, 2000).

Los cambios en el clima causan graves desequilibrios en la estructura y el funcionamiento de los distintos tipos de ecosistemas, afectando principalmente el ciclo biológico de especies vegetales y animales. El uso de la aerobiología y la fenología como herramientas útiles aplicadas al cambio climático, permiten considerar a la especie como bioindicadora del área donde se encuentra su hábitat natural (García, Mestre y Galán, 2002; Menzel, 2002; Orlandi et ál., 2010).

Un ejemplo importante del efecto del cambio climático en un sistema biológico se observa en la producción de polen. Factores meteorológicos, bioclimáticos, edáficos o bióticos afectan directamente a los procesos fisiológicos, y por tanto, al ciclo biológico de cada especie. Debido a lo anterior, cualquier cambio en el entorno causado por variaciones climáticas podría afectar a la viabilidad y la supervivencia de las poblaciones vegetales, tanto silvestres como cultivadas. Diversos estudios (Clot, 2003) han demostrado que las plantas y el polen son un indicador del cambio climático ya que cambios en el ambiente como la temperatura, provocan un ajuste en los procesos fisiológicos de las plantas. Asimismo, debido al incremento del CO₂ atmosférico y de otros Gases de Efecto Invernadero (GEI) se producen aumentos en la temperatura, la humedad, la precipitación, y fenómenos meteorológicos extremos, lo que puede influir en el mecanismo de polinización, determinando cambios en los periodos de floración, duración, producción polínica, distribución, dispersión, lo que repercute, no solo en el contenido de aeroalergenos polínicos en la atmósfera, sino en su concentración y época anual en la se presentan, ocasionando daños a la salud de la población,

como ocurre por ejemplo, con pólenes de *Fraxinus* (fresno) cuya presencia y concentraciones máximas en el aire de la Ciudad de México se registran en los meses de diciembre a marzo, con máximos en enero, así como por la presencia de algunas de sus proteínas adheridas a aeropartículas, lo que se relaciona con la entrada a urgencias de pacientes con enfermedades de alergias respiratorias y asma causadas por la exposición a dichos pólenes (Robledo et ál., 2015a; CCA, 2015).

Por tal motivo, la generación de bases de datos históricos que se generan a lo largo del tiempo (Bonofiglio et ál., 2013; Zhang et ál., 2013), han permitido determinar los efectos de estas variaciones climáticas sobre los principales factores biológicos que afectan las concentraciones promedio y valores máximos de polen en diferentes regiones geográficas. La información registrada es utilizada para determinar la presencia estacional de aeroalergenos polínicos en el aire.

El polen atmosférico fue reconocido por primera vez en México en 1940 por Salazar-Mallén (Salazar-Coria, 1995), posteriormente se realizaron diversos estudios sobre el tema (Rosales, 1985; González et ál., 1999; Torres, 2006); sin embargo, los resultados realizados no son comparables entre sí, debido a las diferencias en los métodos y análisis utilizados y los periodos intermitentes de monitoreo, lo que no ha permitido generar bases de datos que permitan determinar los efectos en la variabilidad climática sobre las plantas. Como un esfuerzo para abordar problemas de salud, a partir de 2008 se creó la Red Mexicana de Aerobiología en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) para el monitoreo de polen del aire de la Ciudad de México (Fuentes-Rojas, 2012; Calderón et ál., 2015). El registro de esta información a futuro (>10 años) servirá para evaluar los efectos del cambio climático en las plantas y su floración, y para determinar la variación estacional de aeroalergenos polínicos causantes de enfermedades respiratorias y alergias. A nivel internacional el polen se ha reconocido como un indicador de salud ambiental para el cambio climático.

Cuadro 3. Impacto de los eventos extremos en la transmisión de ETV en México

El análisis del impacto de desastres naturales sobre ETV's requiere construir modelos de peligro combinado entre la distribución de los vectores infectados y los eventos y condiciones extremas. Los modelos del "E-Atlas for Vulnerability Risk and Analysis Mapping" de la OMS fueron adaptados para México. Una de las principales ventajas de esta metodología es que requiere series de tiempo de siete años como mínimo, lo que no siempre se encuentran registrados o disponibles en diversas bases de datos. Se aplicaron para el país cinco modelos de desastres naturales (inundaciones, deslizamientos, temblores, olas de calor y velocidad de viento) con información de dominio público, logrando la adaptación de los modelos de peligro para particularidades hidrometeorológicas y geológicas a una escala a 90 m para deslizamiento e inundación, y a 1 km para calor extremo, eventos sísmicos y viento extremo (Ramsey et al., 2013b). Estos modelos fueron validados a nivel estatal para Oaxaca y Chiapas, mientras que los productos de valor generados son los mapas de riesgo a nivel estatal, municipal, y local, instrumentos que puede servir para generar políticas públicas a nivel estatal y municipal enfocados en la adaptación a peligros naturales.

6. Herramientas institucionales para abordar la salud y el cambio climático

La Ley General de Cambio Climático (LGCC) establece que la instrumentación de la política nacional de mitigación debe priorizar los sectores de mayor potencial de reducción. La Estrategia de Cambio Climático (ENCC) y el Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC) son los dos principales instrumentos de planeación de la Ley General de Cambio Climático. En ambos, se han definido acciones para atender los impactos del cambio climático en salud, mismas que resumo en la siguiente tabla.

Estrategia Nacional de Cambio Climático
Líneas de acción
P1.18 Fortalecer los sistemas de vigilancia epidemiológica existentes e incluir en el diseño de acciones de atención los impactos en la salud relacionados con el cambio climático, tales como enfermedades infecciosas intestinales, respiratorias agudas, intoxicación por alimentos, relacionados a fenómenos como la marea roja y atención a población afectada.
P5.12 Fortalecer el diseño de indicadores de salud relacionados con cambio climático en donde se analicen factores ambientales, laborales y sociales de la población con el fin de proveer al Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica de información actualizada para llevar a cabo acciones de prevención y atención a población vulnerable.
A1.8 Instrumentar y fortalecer políticas públicas enfocadas a reducir riesgos a la salud asociados a efectos del cambio climático; para ello considerar a los grupos más susceptibles y sensibles por sus condiciones biológicas y de salud.
A1.10 Incrementar y fortalecer políticas públicas enfocadas a reducir riesgos a la infraestructura de la salud pública.

En el PECC 2014-2018, la Secretaría de Salud incluyó cuatro líneas de acción y cuatro actividades complementarias en el componente de adaptación. Estas se encuentran en los siguientes objetivos y estrategias.

Objetivo	Estrategia	Línea de acción
1. Reducir la vulnerabilidad de la población y sectores productivos e incrementar su resiliencia y la resistencia de la infraestructura estratégica.	1.2 Instrumentar acciones para reducir el cambio climático de la población rural y urbana.	1.2.6 Diseñar un sistema de alerta temprana con información epidemiológica de padecimientos específicos relacionados con el cambio climático.
		1.2.7 Actualizar el marco normativo y programático del sector salud en materia de riesgos sanitarios asociados al cambio climático
5. Consolidar la política nacional de cambio climático mediante instrumentos eficaces y en coordinación con las Entidades Federativas, municipio, poder legislativo y sociedad.	5.4 Fortalecer esquemas e instrumentos de capacitación, investigación e información en materia de cambio climático.	1.3.7 Elaborar un diagnóstico de la infraestructura estratégica actual del sector salud e incorporar el enfoque de vulnerabilidad en los nuevos proyectos.
		5.4.10. Contar con un diagnóstico para evaluar la vulnerabilidad frente al cambio climático en el sector salud.
Actividades complementarias		
Actividades de capacitación		Desarrollar un programa de capacitación para el personal e instituciones del sector salud ante las amenazas derivadas del cambio climático.
Actividades de educación en cambio climático		Diseñar e implementar en los municipios una estrategia de comunicación educativa sobre los efectos de cambio climático en salud, con enfoque de género.
Actividades para reforzar los instrumentos de política pública en materia de cambio climático		Consolidar un Grupo de Trabajo intrasectorial para la evaluación de las acciones del sector salud en materia de cambio climático.
		Incorporar en los Planes Estatales de Cambio Climático el componente de salud con enfoque de género.

De manera adicional, en este subtema se han hecho precisiones y aclaraciones respecto a la implementación de la Estrategia de Cambio Climático del Sector Salud, destacando las líneas de acción, dependencias participantes y la coordinación.

Una institución que fortalece el trabajo y las políticas públicas es el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) cuya misión es generar e integrar conocimiento técnico y científico e incrementar el capital humano calificado para la formulación, conducción y evaluación de políticas públicas que conlleven a la protección del medio ambiente, preservación y restauración ecológica, crecimiento verde, así como la mitigación y adaptación al cambio climático en el país (COFEPRIS, 2014; PECC, 2014).

La Comisión para la Protección de Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) de la Secretaría de Salud es la instancia administrativa encargada de la difusión del conocimiento sobre el proceso del cambio climático en México y sus repercusiones presentes y futuras en la salud de la población, enfocado principalmente en algunos de los determinantes más importantes de la salud, como son el aire, agua y alimentos. Uno de los objetivos principales es lograr que haya una sociedad bien informada y comprometida pues de esta manera puede contribuir con su actitud y acciones a disminuir las presiones a las que está sometido el ambiente.

Una de las acciones de la COFEPRIS ha sido establecer la "Red Mexicana sobre Cambio Climático y Salud" en la que se pretende que los usuarios puedan difundir e intercambiar información y experiencias; crear sinergias para la generación de conocimientos; realizar consultas especializadas; hacer disponible información para la toma de decisiones y el desarrollo de planes de cambio climático y salud a nivel federal y estatal; establecer vinculación con otras redes existentes a nivel nacional e internacional; además de facilitar la vinculación del sector salud con otras disciplinas y sectores gubernamentales y no gubernamentales que estén trabajando el tema de cambio climático.

Una de las acciones que a corto plazo el Sector Salud deberá hacer es la revisión y actualización del marco normativo vigente y la construcción de los instrumentos jurídicos y administrativos necesarios para cumplir con los compromisos adquiridos a través de la publicación de la Ley General de Cambio Climático (COFEPRIS, 2014).

7. Prioridades de Investigación

El tema de salud se ha venido incorporando progresivamente en los planes regionales y nacionales de adaptación al cambio climático. Sin embargo, muchas veces estas propuestas no están basadas en conocimiento científico sólido y sobre todo, generados en nuestro país. Ante un problema emergente como éste, la inversión en investigación ha sido mínima y aun menores los productos generados de alta calidad y con aplicación directa. Las búsquedas de artículos científicos con las palabras "cambio climático+salud+México", generan muy pocas salidas reportando artículos indexados. Los pocos que existen se refieren a la asociación entre variables climáticas y enfermedades transmitidas por vectores. De esta manera, muchos de los problemas que se abordan en los programas de prevención carecen de base científica sólida.

Cuadro 4. Vulnerabilidad para el riesgo de ETV en eventos extremos y por cambio climático

El Vulnerability Risk and Analysis Mapping (VRAM) tiene por objetivo evaluar riesgos a peligros y la vulnerabilidad social con base en criterios geográficos y para producir modelos a ser usados en la planificación, la alerta temprana y/o fortalecimiento de la respuesta social. Debido a que el riesgo implica la probabilidad que un peligro ocurra donde hubiera presencia de la población humana, la vulnerabilidad requiere modelar tanto la capacidad general social, como la resiliencia específica para el tema analizado. El marco del modelo VRAM incluye por primera vez componentes socio culturales, demográficos, económicos, del estatus y necesidades de salud, y de la respuesta civil y sanitaria. Este modelo fue construido a nivel nacional, y para Chiapas y Oaxaca, en dos fases, el primero con solo información de dominio público (57 variables en 4 subcomponentes) y el segundo, agregando 27 variables, mediante encuestas en comunidades y cabeceras municipales. Ambos modelos han sido validados para todo el estado de Chiapas y de Oaxaca, tanto a nivel municipal como comunitario, incluyendo el análisis de gobernanza de riesgo, aunque los gobiernos de ningún estado han colaborado con la información de protección civil y el IMSS no ha compartido sus datos de infraestructura (Ramsey et ál, 2013b).

Una agenda de investigación sobre cambio climático y salud debería contener:

- a) El diseño de proyectos regionales que apoyen los planes estatales y municipales de adaptación.
- b) Efectos del incremento de temperatura. Se incluye el impacto del calor sobre eventos cerebrovasculares y cardiovasculares en adultos mayores; riesgos en trabajadores agrícolas, de la construcción y ambulantes; riesgos vinculados a la deshidratación en niños; interacción con contaminantes atmosféricos especialmente los de vida corta, así como incremento de riesgos en biopartículas.
- c) Efecto de la variabilidad de la temperatura y la precipitación en enfermedades zoonóticas y transmitidas por vectores.
- d) Proyectos de investigación para el desarrollo de sistemas de alerta temprana (SAT) en salud con indicadores climáticos, así como mapas de riesgo interactivos, lo cual estaría dirigido su desarrollo por regiones y estados.
- e) Efectos del cambio climático en la disponibilidad de alimentos, riesgo de hambrunas y migración. El enfoque regional de este tópico incluye tanto los riesgos de sequía en el norte, como los de inundación de campos agrícolas y pecuarios en diversas zonas del país.
- f) Profundizar en estudios de vulnerabilidad para cada uno de los indicadores de salud, vinculados con el cambio y la variabilidad climática.
- g) Determinar la magnitud de los impactos, tanto positivos como negativos, en la morbilidad y mortalidad relacionados con el cambio climático a través de estudios locales específicos.

Con el fin de fortalecer la investigación, así como la elaboración de políticas públicas de adaptación y mitigación en salud se ve la necesidad de promover la formación de recursos humanos. Esto permitirá contar con un mejor abordaje interdisciplinario e intersectorial que promuevan la obtención de recursos económicos, diseños de tecnología y al final, la optimización en la toma de decisiones.

8. Recomendaciones generales

A continuación se señalan algunas recomendaciones que se consideran prioritarias en el tema de cambio climático y salud humana.

- Establecer sistemas de información que recopilen oportunamente datos pertinentes sobre las poblaciones y regiones vulnerables, y la incidencia y el alcance geográfico de los resultados de salud susceptibles a los efectos del clima.
- Implementación de sistemas de vigilancia del clima, de manera que sea posible pronosticar cuándo existen condiciones climatológicas o ambientales que pueden conducir a pandemias, epidemias, etc.
- Desarrollo de sistemas de vigilancia para la emergencia o resurgencia de enfermedades infecciosas transmitidas por vectores o por el agua, a fin de aplicar de manera inmediata acciones para controlar la proliferación de insectos o roedores e informar al público sobre cómo protegerse o qué hacer en caso de contagio.
- Estudiar y abarcar los riesgos a la salud humana desde un enfoque ecosistémico.
- Implementación de una colaboración intersectorial de manera que todo lo pertinente a la salud humana sea considerado dentro de técnicas de manejo ambiental. Por ejemplo, el sector salud podría utilizar información generada por los pronósticos del clima para elaborar una planeación adecuada en este campo.
- Fortalecer los sistemas de salud para abordar los riesgos adicionales del cambio climático en la salud de la población, reduciendo así la carga de morbilidad actual y futura.
- Instrumentar sistemas de alerta temprana (SAT) en zonas de riesgo para proteger a grupos vulnerables, por ejemplo adultos mayores, niños y poblaciones viviendo en zonas de inundaciones y deslizamientos.
- Se debe promover la difusión del conocimiento de los riesgos del cambio climático para la salud y la diversidad de respuestas necesarias para reducir los efectos nocivos en la salud actuales y proyectados, entre los diversos sectores, incluyendo a los tomadores de decisiones y al público.
- Proporcionar liderazgo y gobernanza, promoviendo la salud en todas las políticas.

Conclusiones

Por sus condiciones geográficas, de intensificación de la degradación ambiental, y sociales; el país se encuentra en condiciones particulares de vulnerabilidad en salud frente al cambio climático.

Los escenarios futuros nos muestran variaciones serias en cuanto a la distribución y disponibilidad del agua que generará riesgos de inundaciones por un lado y sequías en el norte del país. En términos de riesgos a la salud, se verá expuesto a una menor productividad de alimentos, así como con problemas en su distribución. Las inundaciones, cada vez más frecuentes, generan un peligro latente de brotes de enfermedades relacionadas con la contaminación y la distribución del agua. La amplitud de las costas y la intensificación de los fenómenos hidrometeorológicos, en particular en zonas de riesgos, obligan a la consolidación de los SAT que incluyan indicadores de salud.

El crecimiento urbano y la contaminación potencian diversos riesgos, tales como el impacto de los contaminantes atmosféricos, en específico partículas respirables con carbono negro y ozono vinculadas a enfermedades respiratorias y cardiovasculares, así como ondas de calor.

Los cambios en los patrones climáticos y de precipitación aunados con factores demográficos como las migraciones y la urbanización desordenada, incrementan la probabilidad de la creación de nuevos nichos para vectores, tales como el del mosquito transmisor del dengue, entre otros.

Ante este panorama, se hace necesario e imperativo contar con atlas de riesgos nacionales y regionales que apoyen la toma de decisiones en el sector salud. Si bien se han incorporado políticas y programas al interior del sector, es necesario que estos sean fortalecidos y que además consoliden su abordaje multisectorial.

El atraso en investigación sobre cambio climático y salud es significativo. Tanto los fondos como los productos científicos en esta área son escasos. El tema cobra relevancia si consideramos que es necesaria la generación de conocimiento a nivel nacional y regional para apoyar, tanto el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, como los programas estatales y municipales.

El cambio climático representa un reto emergente para la salud pública en México que requiere ser abordado en toda su complejidad a partir de aproximaciones transdisciplinarias y transectoriales.

Referencias

- Barraza-Villarreal, A., Escamilla-Núñez, M.C., Hernández-Cadena, L., Texcalac-Sangrador, J.L., Sienra-Monge, J.J., & Del Río-Navarro, B.E. (2011). Elemental carbon exposure and lung function in school children from Mexico City. *Eur Respir J*, 38, pp. 548-52.
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W. & Palutikof J.P. (Eds.). 2008. Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC Secretariat. 210 pp.
- Behra, S. N., Cheng, J., Huang, X., Zhu, Q., Liu, P., & Balasubramanian, R. (2015). Chemical composition and acidity of size-fractionated inorganic aerosols of 2013-14 winter haze in Shanghai and associated health risk of toxic elements. *Atmospheric Environment*, 122, pp. 259-271
- Bonofiglio, O. F., Ruga, L., Romano, B. & Fornaciari, M. (2013). Climate change impact on the olive pollen season in Mediterranean areas of Italy: air quality in late spring from an allergenic point of view. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, pp. 877-890.
- Brunkard, J., Cifuentes, E. & Rothenberg, S. (2008). Assessing the roles of temperature, precipitation, and ENSO in dengue re-emergence on the Texas-Mexico border region. *Salud Pública de México*, 50, pp. 227-234.
- Brunkard, J., Robles-López, J., Ramírez, J. & Cifuentes, E. (2007). Dengue Fever Seroprevalence and Risk Factors, Texas-Mexico Border, 2004. *Emerging Infectious Diseases*, 13, pp. 1477-1483.
- Calderón-Ezquerro, C., Guerrero-Guerra, C., Martínez-López, B., Fuentes-Rojas, F., Téllez-Unzueta, F., López-Espinoza, E.D., (...). Trigo-Pérez, M. M. (2015). First Airborne pollen calendar for Mexico City and its relationship with bioclimatic factors. *Aerobiología Springer*, (Enviado: AERO-D-15-00006).
- Centro de Ciencias de la Atmósfera [CCA]. (2015). Red Mexicana de Aerobiología. México, D.F.: UNAM. Disponible en: www.atmosfera.unam.mx/rema (Consultada el 5 de marzo de 2015).
- Climate Change Science Program [CCSP]. (2008a). Analyses of the Effects of Global Change on Human Health and Welfare and Human Systems. In J.L. Gamble, (Ed.) and K.L. Ebi, A.E. Grambsch, F.G. Sussman, & T.J. Wilbanks (authors). *Synthesis and Assessment Product 4.6.: Final Report*. Washington, DC, USA: United States Climate Change Science Program, Subcommittee on Global Change Research and United States Environmental Protection Agency [EPA]. 283 pp.
- CCSP. (2008b). Weather and Climate Extremes in a Changing Climate: Regions of Focus: North America, Hawaii, Caribbean and U.S. Pacific Islands. In T.R. Karl, G.A. Meehl, C.D. Miller, S.J. Hassol, A.M. Waple, & W.L. Murray (Eds.). *Synthesis and Assessment Product 3.3, Report*. Washington, DC, USA: United States Climate Change Science Program, the Subcommittee on Global Change Research Department of Commerce and NOAA's National Climatic Data Center. 162 pp.
- Clot, B. (2003). Trends in airborne pollen: An overview of 21 years of data Neuchâtel (Switzerland). *Aerobiología*, 19, pp. 227- 234.
- Colón-González, F., Lake, I. & Benthman, G. (2011). Climate Variability and dengue fever in Warm and Humid Mexico. *American Journal Tropical Medicine and Hygiene*, 84, pp. 757-763.
- Cook, J.T., & Frank, D.A. (2008). Food security, poverty, and human development in the United States. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1136, pp. 193-209.
- Comisión Federal para Protección contra Riesgos Sanitarios [COFEPRIS]. (2014). Cambio Climático México, D.F.: Secretaría de Salud. Disponible en: <http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/Cambio%20climatico%20y%20salud/Cambio-climatico-y-salud.aspx> (Consultada el 5 de marzo de 2015).
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2011). Atlas del Agua en México. México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Curriero, F.C., Patz, J.A., Rose, J.B., & Lele, S. (2001). The association between extreme precipitation and waterborne disease outbreaks in the United States, 1948-1994. *American Journal of Public Health*, 91, pp. 1194-1199.
- Fuentes-Rojas, F. (2012). *Estudio aeropalinológico del sur de la Ciudad de México*. (Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales). Universidad Simón Bolívar. México, D.F.
- Garatuza, P., Rodríguez, J.C. & Watts, (2009). Monitoreo ambiental y necesidades hídricas de cultivos. En J.L. González Barrios y C.I. Sánchez (Coords.). *Manejo comparado de cuencas hidroclimáticas: Incertidumbre climática, vulnerabilidad ecológica y conflicto social* (pp.43-61). Torreón, México: SMC5, Conacyt e INIFAP.
- García-Mozo, H., Mestre, A. & Galán, C. (2002). Climate change in Spain: Phenological trends in Southern Areas. In H. Kheradmand, (Ed). *Climatic Change- Socioeconomic Effects*. Disponible en: <http://www.winter.chopen.com/books/climate-change-socioeconomic-effects/climate-change-in-spain-phenological-trends-in-southern-areas>
- Geng, F., Hua, J., Mu, Z., Peng, L., Xu, X., Chen, R. & Kan, H. (2013). Differentiating the associations of black carbon and fine particle with daily mortality in a Chinese city. *Environ Res*, 120, pp. 27-32.

- Gobierno del Estado de México. (2009). *Iniciativa ante el cambio climático en el Estado de México*. Tlalneptla, Estado de México: Secretaría de Medio Ambiente. Disponible en: http://portal2.edomex.gob.mx/sma/cuida_medioambiente/cambio_climatico/groups/public/documents/edomex_archivo/sma_pdf_iniciativa_cam_clima.pdf (Consultada 30 de julio de 2014).
- González-Lozano, M.C., Cerezo-Moreno, A., González-Macias, M.C. & Salazar-Coria, L. (1999). Comportamiento de las partículas suspendidas y polen en la atmósfera de la región norte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. *Revista de la Sociedad de Química Mexicana*, 43, pp. 155-164.
- Greer, A., Ng, V. & Fisman, D. (2008). Climate change and infectious diseases in North America: the road ahead. *Canadian Medical Association Journal*, 178, pp. 715-722.
- Harper, S.L., Edge, V.L., Schuster-Wallace, C., Berke, O. & McEwen, S.A. (2011). Weather, water quality and infectious gastrointestinal illness in two Inuit communities in Nunatsiavut, Canada: potential implications for climate change. *Eco Health*, 8, pp.93-108.
- Hurtado-Díaz, M., Ríos-Rodríguez, S., Rothenberg, H., Gomez-Dantés, E. & Cifuentes. (2007). Short communication: impact of climate variability on the incidence of dengue in Mexico. *Trop Med Inter Health*, 12, pp. 1327-1337.
- Ibarra-Cerdeña, C.N., Sánchez-Cordero, V., Peterson, A.T. & Ramsey J.M. (2009). Ecology of North American Triatominae. *Acta Tropica*, 110, pp. 178-186.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2014). Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. En C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, (...) y L.L. White (Eds.). *Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial. 34 pp.
- Isard, A.S. & Gage, (2000). *Flow of Life in the Atmosphere*. Michigan State University Press.
- Jiménez-Moleón, M.C. & Gómez-Albores, M.A. (2011). Waterborne diseases in the state of Mexico, Mexico (2000-2005). *Journal of Water and Health*, 9, pp. 200-207.
- Leal, A.M., Millán, G.D., Méndez, J.C. & Servín, J.A. (2008). *Evaluación de la afectación de la calidad del agua en cuerpos de agua superficiales y subterráneos por efecto de la variabilidad y el cambio climático*. México, D.F.: INE, SEMARNAT e IMTA.
- López-Cárdenas, J., González Bravo, F.E., Salazar Schettino, P.M., Gallaga Solórzano, J.C., Ramírez Barba, E., Martínez Méndez, J. (...) J.M. Ramsey. (2005). Fine-scale predictions of distributions of Chagas disease vectors in the state of Guanajuato, Mexico. *J Med Entomol*, 42, pp. 068-1081.
- Lozano-Fuentes, S., Hayden, M., Welsh-Rodríguez, C., Ochoa-Martínez, C. & Tapia-Santos, B. (2012). The Dengue Virus Mosquito Vector *Aedes aegypti* at High Elevation in México. *American Journal Tropical Medicine and Hygiene*, 87, pp. 902-909.
- Menzel, A., (2002). Phenology its importance to the Global Change Community. *Climatic Chang*, 54, pp. 379-385.
- Moo-Llanes, D., Ibarra-Cerdeña, C.N., Rebollar-Téllez, E.A., Ibáñez-Bernal, S., González, C. & Ramsey, J.M. (2013). Current and future niche of North and Central American sand flies (Diptera: Psychodidae) in climate change scenarios. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 7, e2421.
- Morin, C., Comrie, A. & Ernst, K. (2013). Climate and dengue Transmission: Evidence and Implications. *Environ Health Perspect*, 121, pp. 1264-1272.
- Orlandi, F., Sgromo, C., Bonofiglio, T., Ruga, L., Romano, B. & Fornaciari, M. (2010). Yield modelling in a Mediterranean species utilizing cause-effect relationships between temperature forcing and biological processes. *Scientia Horticulturae*, 123, pp. 412-417.
- Ostro, B., Broadwin, R., Green, S., Feng, W.Y. & Lipsett, M. (2006). Fine particulate air pollution and mortality in nine California counties: results from CALFINE. *Environ Health Perspect*, 114, pp. 29-33.
- Programa Especial de Cambio Climático [PECC]. (2014). Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018: México. México, D.F.: Diario Oficial de la Federación, 28 de abril de 2014.
- Peterson, A.T., Sánchez-Cordero, V., Beard, C.B. & Ramsey, J.M. (2002). Ecologic niche modeling and potential reservoirs for Chagas disease, Mexico. *Emerging Infectious Diseases*, 8, pp. 662-667.
- Ramírez-Zepeda M.G., Velasco-Mondragón, H.E., Ramos, C., Peñuelas, J.E., Maradiaga-Ceceña, M.A., Murillo-Llanes, J., y Chaín-Castro, R. (2009). Caracterización clínica y epidemiológica de los casos de dengue: experiencia del Hospital General de Culiacán, Sinaloa, México. *Rev Panam Salud Pública*, 25, pp. 16-23.
- Ramsey, J.M., Moo-Llanes, D.M., Danis-Lozano, R., Pinto, J.F., Ibarra-Cerdeña, C.N. & Casas-Martínez, M. (2013a). Peligro de exposición actual y futuro para Chagas, dengue, leishmaniasis y paludismo en México. En *Memorias del Futuro de la Investigación en Cambio Climático*, (pp.1-9). México, D.F.: 14 al 18 de octubre de 2012. PINCC, UNAM.
- Ramsey, J.M., Pinto Castillo, J.F., El Morjani, Z.E.A., Ebener, S. & Colombo, L.R. (2013b). Atlas para los Riesgos de Desastres, Aplicación a México: Metodologías y Procesos de Implementación. *Código Roseta*. 151 pp. ISBN 978-607-00-6824-9.

- Riojas-Rodríguez, H., Álamo-Hernández, U., Texcalac, J.L. y Romieu, I. (2012). Evaluación del impacto en salud por exposición a ozono y material particulado (PM10) en la Zona Metropolitana del Valle de México. México: Gobierno del Distrito Federal, Instituto Nacional de Salud Pública e Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal.
- Riojas-Rodríguez, H., Hurtado-Díaz, M., Moreno-Banda, G. y Castañeda, A. (2011). Atlas de la vulnerabilidad la salud humana al cambio climático en México. Abstracts of the 23rd Annual Conference of the International Society of Environmental Epidemiology (ISEE), September 13-16, 2011, Barcelona: Spain. *Environ Health Perspect*: Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.isee2011>
- Rojas-Martínez, R., Pérez-Padilla, R., Olaiz-Fernández, G., Mendoza-Alvarado, L., Moreno-Macias, H., Fortoul, T., (...) & Romieu, I. (2007). Lung function growth in children with long-term exposure to air pollutants in Mexico City. *Am J Respir Crit Care Med*, 176, 377-384.
- Robledo-Retana, T.E., Zenteno, C., Agundis-Mata, C., Pereyra-Morales, A., Calderón-Segura, M.E. & Calderón-Ezquerro, M.C. (2015). Detection of immunogens from *Fraxinus* spp. Pollen grains in Mexico City. *Aerobiología*. doi: 10.1007/s10453-015-9973-7.
- Romero, L.P. (2010). Water in Mexico City: what will climate change bring to its history of water-related hazards and vulnerabilities? *Environment and Urbanization*, 22, pp.157-178.
- Romero-Lankao, P., Smith, J., Davidson, D., Diffenbaugh, N., Kinney, P., Kirshen, P. (...), Villers, R.L. (2014): North America. In C. Field, y V. Barros, (Eds). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, (pp.1439-1498). Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. WMO/ UNEP.
- Romieu I., Castro-Giner, F., Kunzli, N. & Sunyer, J. (2008). Air pollution, oxidative stress and dietary supplementation: a review. *Eur Respir J*, 31, pp. 179-97.
- Rosales-Lomeli, J. (1985). *Análisis aeropalínológico anual del norte de la Ciudad de México, implicaciones en la contaminación ambiental y en la alergología*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Rose, J.B., Epstein, P.R., Lipp, E.K., Sherman, B.H., Bernard, S. M. & Patz, J.A. (2001). Climate variability and change in the United States: potential impacts on water and foodborne diseases caused by microbiological agents. *Environ Health Perspect*, 109(2), pp. 211-221.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA] (2012). México: El sector agropecuario ante el desafío del cambio climático. Volumen I. México, D.F.: FAO y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/programas2/evaluacionesExternas/Lists/Otros%20Estudios/Attachments/37/Cambio%20Climatico.pdf> (Consultada el 5 de marzo de 2015).
- Torres-Valdés, J. E. (2006). *Determinación de los agentes principales de polinosis en la Ciudad de México*. (Tesis de Especialidad en Alergia e Inmunología Clínica). Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F.
- Salazar-Coria, L. (1995). *Estudio anual de polen atmosférico en la zona sur de la Ciudad de México*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Salazar-Mollén, M. (1940). "Estudio de los pólenes en la atmósfera de la ciudad de México". *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 1(3), pp. 147-164.
- Salcedo D., Onasch, T. B., Dzepina, K., Canagaratna, M. R., Zhang, Q., Huffman, J.A., et ál. (2006). Characterization of ambient aerosols in Mexico City during the MCMA-2003 campaign with Aerosol Mass Spectrometry: results from the CENICA Supersite. *Atmosph. Chemistry and Physics*, 6, pp.925-946.
- Sanín, L.H. y Guzmán, I. (2007). *Género, salud y ambiente: un paso a la integración*. Chihuahua, México: Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. (2014). Sistema de Monitoreo Atmosférico de Jalisco. Guadalajara, México: Gobierno del Estado de Jalisco. Disponible en: <http://sigajalisco.gob.mx/aire/Datos.html>. (Consultado 28 de julio de 2014).
- Smith, K.R., Woodward, A., Campbell-Lendrum, D., Chadee, D., Yasushi, H. & Liu, Q. et ál. (2014). Human Health: Impacts, Adaptation, and Co-Benefits. In C. Field & V. Barros, (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, (pp.709-754). Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. WMO/UNEP.
- Suglia, S.F., Gryparis, A., Wright, R.O., Schwartz, J. y Wright, R.J. (2008): Association of black carbon with cognition among children in a prospective birth cohort study. *Am J Epidemiol*, 167, pp. 280-286.
- United Nations Environment Programme [UNEP]. (2011). *Near-term Climate Protection and Clean Air Benefits: Actions for Controlling Short-Lived Climate Forcers*. A UNEP Synthesis Report. Nairobi: Autor. 78 pp.
- Disponible en : http://www.unep.org/pdf/Near_Term_Climate_Protection_and_Air_Benefits.pdf
- World Bank. (2010). *World Development Report 2010*. Washington, D.C.: Development and Climate Change. The World Bank, p. xxi, 417 pp.
- Zhang, R., Duhl, T., Salam, M.T., House, J.M., Flagan, R.C., Avol, E., (...) & VanReken, T. M. (2013). Development of a regional-scale pollen emission and transport modeling framework for investigating the impact of climate change on allergic airway disease. *Biogeoscience*, 10(3), p. 3977.