

La salud ambiental: algunas reflexiones en torno a la biodiversidad y al cambio climático

Jorge L. León-Cortés^{1,2}, Anaximandro Gómez Velasco^{2,3}, Héctor Javier Sánchez Pérez^{2,3,4}, Gustavo Leal F.⁵, Francisco Infante⁶

¹Departamento de Conservación de la Biodiversidad. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Unidad San Cristóbal de Las Casas. Chiapas. México. ²Red GRAAL (Grupos de Investigación para América y África Latinas). ³Departamento de Salud, ECOSUR. Unidad San Cristóbal de Las Casas. Chiapas. México. ⁴Programa Integrado de Tuberculosis (PII-TB) SEPAR. ⁵Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco. Ciudad de México. ⁶Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente. El Colegio de la Frontera Sur. Unidad Tapachula. Chiapas. México.

Resumen

La salud ambiental es la disciplina que se ocupa de las interrelaciones del hombre y otros seres vivos con el ambiente, los cambios naturales o inducidos, la contaminación en el ambiente y sus posibles consecuencias en la salud humana. Presentamos un panorama sintético de los impactos generados por el ser humano sobre el ambiente y la biodiversidad, en particular la degradación y cambio del entorno natural, y sus posibles consecuencias en la salud humana. Los objetivos de este trabajo fueron: 1) exponer brevemente el quehacer de la epidemiología ambiental, en particular lo relativo a las causas de morbilidad y mortalidad producto de la exposición involuntaria a agentes contaminantes o infecciosos; y 2) discutir el problema del cambio climático y su repercusión en los componentes del ambiente y la salud humana, así como la posible alteración de la dinámica de las sociedades como consecuencia de la ocurrencia de patrones climáticos atípicos. Concluimos que la problemática ambiental tiene un alto impacto sobre la salud de la población humana –y de muchos otros seres vivos–, por lo que es necesario establecer programas efectivos de mitigación al cambio climático global.

Palabras clave:

Epidemiología ambiental.
Cambio climático global.
Enfermedades infecciosas.

Environmental health: some reflections on biodiversity and climate change

Summary

Environmental health is the discipline that studies the relationships between man and other organisms along with the environment, as well as the natural and induced environmental changes and pollution affecting human health. In this work, we offer a framework onto how human activities impact the environment and biodiversity, particularly the environmental changes and its consequences to human health. The objectives of this paper were: 1) to describe briefly environmental epidemiology as a discipline that attempts to understand the causes of morbidity and mortality, as a product of involuntary exposition to contaminat or infectious agents; and 2) to discuss how global climate change determines alterations in the environment, and its possible consequences to the society and human health, emphasizing upon how the dynamics of societies respond to these changes as a result of atypical climate patterns.

Key words:

Environmental epidemiology.
Global climate change.
Infectious diseases.

We conclude that environmental crisis will precipitate (and/or exacerbate) a variety of issues on human health and on many other living organisms. It is a matter of some urgency to put in place effective programs of mitigation of global climate change effects.

Correspondencia: Héctor Javier Sánchez Pérez
E-mail: hsanchez@ecosur.mx

Introducción

La “tormenta perfecta” que ha anunciado Sir John Beddington, el principal asesor en materia científica del gobierno de Gran Bretaña, es peculiar y sombría. De prevalecer la tendencia de crecimiento poblacional actual, en el año 2030 seremos 8.300 millones de personas, y la demanda de agua y alimentos superará los recursos que el planeta puede proporcionarnos, los mantos acuíferos de agua para consumo humano serán cada vez más escasos, los casquetes polares se derretirán, y los precios de alimentos, energía y vivienda subirán^{1,2}. Para ese entonces, la población mundial se habrá incrementado en un tercio, con lo que la demanda de alimentos aumentará un 50%, la del agua un 30% y la de energía otro 50%, en tanto que la población de las áreas rurales migraría a las ciudades para vivir y trabajar, lo que a su vez provocaría una mayor demanda de agua y energía en zonas urbanas, con la consecuente disminución del contingente humano encargado de producir alimentos en la agricultura².

El aumento de las poblaciones humanas, de sus actividades, así como el modelo político-económico capitalista predominante, ha traído consigo un incremento del desarrollo de numerosos productos e insumos, afectando frecuente e irreversiblemente los ecosistemas a una escala global. Algunas de las consecuencias más importantes de dicha situación son: 1) el hacinamiento humano, cuya consecuencia es el aumento de la probabilidad de transmisión de enfermedades infecciosas, 2) el incremento de las migraciones humanas, que permite un intercambio y globalización de organismos potencialmente patógenos, 3) la aparición de vectores transmisores de enfermedades (dengue, malaria, Zika y Chikungunya, entre otras), y 4) la transformación de ambientes naturales, lo cual facilita el contacto con organismos poco comunes, ya sea por invasión de animales reservorios a sitios de asentamientos urbanos o a zonas agrícolas (plagas), o bien por expansión de las poblaciones humanas³, trayendo como consecuencia nuevos riesgos sanitarios y la reaparición o el exacerbamiento de otros ya existentes.

Si bien es cierto que se han tenido avances notorios en ciencia y tecnología que han permitido vislumbrar la posibilidad de mejorar el estado de salud de la población⁴, dichos avances en algunas ocasiones contribuyen al agotamiento y degradación de los recursos del planeta⁵⁻⁸. La degeneración ambiental representa una causa de alerta importante en la emergencia y reemergencia de enfermedades desde la escala local a la global. Así, los riesgos ambientales, tales como la mala calidad del agua, la contaminación microbiana y la falta de saneamiento e higiene ambiental, entre otros, generan problemas de salud pública, y por lo tanto, de estabilidad social.

Evidencia previa sugiere que la problemática ambiental y los procesos de alteración y contaminación del entorno se revierten sobre la salud de la población, manifestándose en el incremento y grado de severidad de patologías vinculadas a la calidad ambiental. Por ejemplo, en un estudio reciente sobre la calidad del agua para consumo humano en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México, se reportó una concentración promedio de coliformes totales y de *E. coli* de 893,15 Unidades Formadoras de Colonias (UFC)/100 ml de agua y de 167,45 UFC/100 ml de agua, respectivamente⁹. Sin embargo, la Normativa Oficial Mexicana¹⁰ señala que, desde el punto de vista bacteriológico, el agua de buena calidad requiere demostrar la ausencia de coliformes fecales. En el citado estudio se estimó que entre la población que consume agua sin hervir, el número de casos anuales de gastroenteritis por diversos microorganismos (*E. coli*, *Campylobacter*, rotavirus y *Cryptosporidium*) sumarían miles al año. En este sentido, la Organización Mundial de la Salud¹¹ calcula que con la mejora del abastecimiento del agua se reduciría la morbilidad por diarrea entre un 6 y 21%, en tanto que la mejora de la calidad del agua ingerida mediante el tratamiento del agua doméstica, puede reducirla entre un 35 y 39%.

En un contexto global, los factores ambientales y sus variaciones naturales o aquellas derivadas de actividades humanas, tienen un efecto importante sobre la salud. Un ejemplo de ello ha sido la emergencia del virus del Ébola, la cual generó alarma no solo en los países africanos, sino en diversas regiones de Europa, e inclusive en los Estados Unidos de América¹². Esta crisis de salud pública obligó a varios países a restringir la migración de personas provenientes de los países afectados.

Asimismo, el aumento de la temperatura amenaza con convertirse en un factor de cambio abiótico importante, por sus repercusiones en el clima, ya que lo haría más “favorable” a la supervivencia, reproducción y expansión de vectores y hospederos intermediarios de agentes infecciosos causantes de enfermedades como el dengue¹³, el cual se ha vinculado a la presencia de variaciones climáticas atípicas^{14,15}. De igual manera, la mortalidad cardiovascular y algunas enfermedades respiratorias han sido asociadas a ondas extremas de calor^{7,16}. En suma, la dinámica geográfica y temporal de las relaciones huésped-patógeno ha sufrido alteraciones debido a cambios profusos en los ecosistemas y a los cambios de las condiciones climáticas⁶⁻⁸.

El análisis de estas problemáticas es abordado por la disciplina Salud Ambiental, misma que se ocupa de las interrelaciones del hombre con el ambiente, incluyendo a otros seres vivos, los cambios naturales o inducidos, y la contaminación producida por el ser humano¹⁷. Las variaciones o respuestas atípicas de un sistema ecológico, pueden poner no solo en riesgo la salud y bienestar del ser humano, sino la estabilidad del sistema en el largo plazo.

El presente trabajo tiene dos objetivos principales: exponer brevemente el quehacer y alcances de la epidemiología ambiental; y, discutir la problemática del cambio climático y su repercusión en la salud del ambiente y del ser humano.

La impronta de la especie humana en el ambiente

Un ecosistema está constituido por un complejo de comunidades de organismos (vegetales, animales y microorganismos) y por los factores físicos en un ambiente definido. El conjunto de ecosistemas, las especies que lo componen y la variación genética característica de cada una de ellas, los procesos que ocurren en y entre ellos, así como su funcionamiento, constituyen lo que se llama biodiversidad¹⁸.

Los ecosistemas son reservorios de la diversidad biológica, además de ser los proveedores de servicios y bienes de gran valor (alimentos, hábitat), son responsables de la captación de agua pluvial que alimenta manantiales, ríos y lagos, mantienen suelos fértiles, capturan el dióxido de carbono de la atmósfera, alojan polinizadores indispensables para la reproducción de plantas, así como agentes de control biológico de organismos nocivos para el ser humano y sus cultivos, entre otras funciones¹⁸.

Actualmente, y con una tendencia a agravarse, en diferentes escalas (global, regional y local) existe una severa degradación de los ecosistemas, lo cual ha traído como consecuencia una notable disminución en la provisión de servicios ambientales. En América Latina, países como Brasil, Colombia, Ecuador, Venezuela, Perú y México, que juntos constituyen menos del 10% de la superficie terrestre, contienen aproximadamente el 70% de la biodiversidad del planeta¹⁹. Sin embargo, la deforestación en esta región es la principal amenaza de la pérdida de biodiversidad, con consecuencias como la fragmentación de hábitats, la disminución de la resiliencia ambiental para la captura y almacenamiento de CO₂, la degradación y pérdida de la productividad del suelo, la afectación a la seguridad agrícola y la energía hidrológica debido al reciclaje alterado de la humedad, entre otros aspectos (Tabla 1).

En el caso de México, estas tendencias son evidentes también, siendo la conversión del uso de suelo debido a la deforestación –y su consecuente erosión– considerada la principal amenaza de la pérdida de su biodiversidad²¹, la cual se aceleró durante las últimas décadas, incluso en zonas previamente consideradas como inaccesibles²².

En lo particular, el estado de Chiapas, situado en el sureste de México, ha sufrido procesos acelerados de cambio de uso de suelo, pérdida y fragmentación de bosques y selvas, incremento de asentamientos urbanos, expansión de actividades mineras y

Tabla 1. Mortalidad por exposición a Plomo en seis países de América Latina, 2016.

País	Mortalidad asociada a exposición de Plomo (en tasas sin estandarizar por 100,000 habitantes)
Brasil	5,83
Colombia	3,6
Ecuador	3,26
México	7,11
Venezuela	7,58
Perú	1,94

Fuente: *Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). GBD Compare Data Visualization*²⁰.

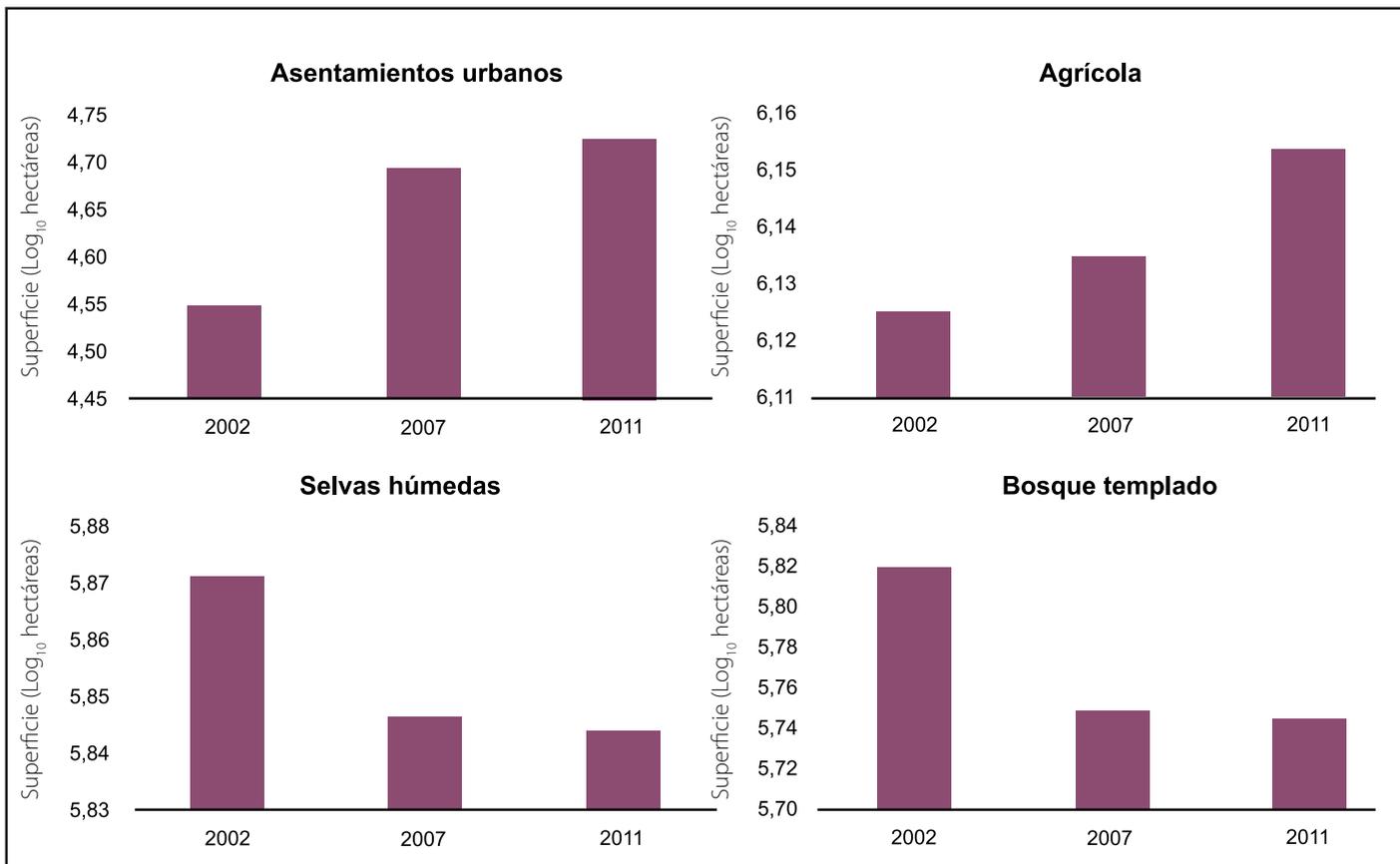
contaminación y sobreexplotación de los recursos naturales que, en conjunto, han dado como resultado un deterioro evidente en la matriz ambiental²³⁻²⁶.

La pérdida de cobertura vegetal para su conversión y/o expansión al incremento de áreas agropecuarias y de asentamientos humanos, constituye una de las principales amenazas para la biodiversidad y el desequilibrio de los ecosistemas (Figura 1).

El aumento de la población humana ha traído consigo un incremento en las actividades antropocéntricas y una de las consecuencias inmediatas es la transformación y contaminación de los ecosistemas, en algunos casos de manera irreversible. Este hecho ha propiciado la invasión y colonización de organismos a ambientes urbanos³. Si a esto se asocia un clima favorable para la reproducción, supervivencia y dispersión de organismos, el resultado es un incremento en las tasas de contacto (micro) organismo-vector y la generación de nuevos cuadros infecciosos.

La dinámica de la propagación de enfermedades infecciosas, en particular las transmitidas por vectores, está en función de la variabilidad ambiental (cambio climático, temperatura, humedad relativa, precipitaciones pluviales), la modificación del hábitat, la evolución del virus y factores humanos, tales como el crecimiento poblacional, la urbanización no planificada, los movimientos migratorios (temporales o definitivos) y el abandono de los programas de control de vectores, que en conjunto, provocan emergencias y re-emergencias de enfermedades, así como la endemización y expansión de algunas de ellas^{3,27}. Por ejemplo, a fines del 2008 se dio una de los mayores brotes de dengue en Bolivia, cuyas posibles causas fueron la alteración en los niveles de precipitación (valores extremos), el insuficiente manejo de residuos sólidos y los patrones de emigración²⁸. En 2012 un brote desmedido de dengue en Madeira, Portugal, tuvo su origen en viajeros procedentes de Venezuela, o bien el brote de Chikungunya en Montpellier, Francia, en octubre de 2014, cuyo caso

Figura 1. Cambios en la cobertura de uso de suelo –eje vertical= Superficie (Log₁₀ hectáreas)- en Chiapas, México, durante la primera década del siglo XXI.



Fuente: Laboratorio de Análisis e Información Geográfica de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR).

índice fue un residente que viajó a Camerún y regresó infectado²⁹. Asimismo, de acuerdo a resultados del sistema de vigilancia epidemiológica para la predicción de aparición de brotes de la OMS, el "Early Warning System Model", el paludismo –dentro de las enfermedades transmitidas por vectores- y el cólera –entre las relacionadas con el agua y los alimentos –, poseen una fuerte asociación entre el factor de variación climática y la aparición de epidemias³⁰.

La intervención humana sobre las transformaciones ambientales ha afectado la dinámica poblacional de una gran variedad de organismos, produciendo perturbaciones de distintas magnitudes que resultan en la modificación de numerosos organismos en cuanto a su abundancia, necesidad de adaptación o de desplazamiento y dispersión³. Dichos cambios han impactado en las interacciones depredador-presa, algunas de las cuales han resultado dañinas al ser humano. Por ejemplo, algunos insectos vectores y agentes infecciosos, han migrado en búsqueda de condiciones óptimas para su supervivencia, lo que ha generado un incremento de epidemias de enfermedades infecciosas en

regiones donde anteriormente no se habían detectado³. En particular, numerosas especies animales, tanto silvestres como domésticas, se han visto involucradas en la transmisión de agentes biológicos como virus (hantavirus, lyssavirus, morbilivirus), bacterias (salmonelas) y parásitos (criptosporidios), entre otros microorganismos³. Por otra parte, la generación de residuos, desechos y aguas contaminadas, también representa un área de expansión de especies potencialmente dañinas al ser humano.

Epidemiología ambiental

De acuerdo a la OMS³¹, la epidemiología es "el estudio de la distribución y los determinantes de estados o eventos –particularmente enfermedades– relacionados con la salud y la aplicación de protocolos al control de enfermedades y otros problemas de salud". Por extensión, epidemiología ambiental se define como el estudio de la distribución y los determinantes de las consecuencias a la salud humana a causa de exposiciones involuntarias y prolongadas a agentes (biológicos, químicos y físicos) contenidos en el ambiente³².

Dentro de los agentes biológicos se encuentran las bacterias, virus, protozoarios, toxinas y hongos; dentro de los químicos, se pueden citar a los metales pesados, plaguicidas y fertilizantes. Entre los agentes físicos, se encuentran los no mecánicos (e.g. ruido, vibraciones) y psicosociales (estrés, tabaquismo, alcoholismo, conductas sexuales riesgosas, drogadicción y violencia)³³.

La naturaleza involuntaria de algunas de estas exposiciones separa a la epidemiología ambiental de otras ramas de la epidemiología. Por ejemplo, los fumadores pasivos caen dentro del marco de la epidemiología ambiental, por tratarse de una exposición involuntaria, en tanto que no es así para los fumadores activos. De igual manera, la exposición de la comunidad al plomo proveniente de una planta local es un aspecto de la epidemiología ambiental, en tanto que la exposición de los trabajadores al plomo en la planta en sí misma es un problema de la epidemiología ocupacional³².

La epidemiología de enfermedades infecciosas también se excluye cuando la transmisión del organismo infeccioso es de persona a persona. Sin embargo, los organismos infecciosos hallados en el ambiente (e.g. en los reservorios de agua) recaen en el espectro de la epidemiología ambiental, bien sea a nivel de endemias, epidemias o pandemias.

Las endemias se caracterizan por ser enfermedades prevalentes de determinadas poblaciones o regiones específicas. Algunos ejemplos de este tipo de enfermedades son el tracoma, la rabia selvática, la lepra y la enfermedad de Chagas, entre otras. Las epidemias se caracterizan por emergencias o disparos agudos de enfermedades en una población poco después de una exposición inusual. De igual manera, se acepta como epidemia, al aumento inesperado de casos de determinada enfermedad o problema de salud.

Por su parte, una pandemia es una enfermedad o problema de salud que se expande a lo largo de regiones extensas, usualmente entre países o bien de alcance mundial, tal como es el caso de la infección por VIH y la tuberculosis.

El desarrollo de las investigaciones sobre el impacto que tienen los (micro) organismos o agentes contaminantes sobre los individuos y las poblaciones humanas, ha demostrado la posibilidad de interacción entre elementos naturales y sociales en el contexto de los riesgos y problemas de salud. El ambiente puede determinar la permanencia, el incremento o reducción de la morbilidad de enfermedades transmisibles como la hepatitis, el dengue, la fiebre tifoidea, la tuberculosis, la leptospirosis y el paludismo, entre otras, y aquellas no transmisibles como el cáncer, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, las cardiopatías y las enfermedades cerebrovasculares³³.

Contaminación ambiental

La ley norteamericana de "aire limpio", ha incluido 189 contaminantes atmosféricos potencialmente tóxicos o peligrosos al ser humano³⁴. Dicha ley incluye a un conjunto diverso de contaminantes que tienen múltiples fuentes de aparición y que prevalecen en el ambiente, así como aquellos contaminantes menos frecuentes y que pueden introducirse por liberaciones accidentales, como es el caso de fugas de sustancias nocivas y las radiaciones en fugas nucleares³⁵. La relación de contaminantes incluye metales, gases absorbidos, diversas partículas y vapores de combustibles y de otras fuentes. Alrededor del 70% de los contaminantes clasificados (compuestos orgánicos volátiles), son considerados como contaminantes peligrosos al aire y son los principales componentes en las reacciones atmosféricas en la capa de ozono y otros contaminantes secundarios³⁵.

Dado el comportamiento ubicuo y la magnitud de su amenaza potencial para la salud, es oportuno ofrecer una breve descripción de las propiedades de tres de estos contaminantes, debido a sus graves consecuencias para la salud humana: los casos del plomo, el mercurio y el benceno. Su uso generalizado ha dado lugar en muchas partes del mundo a una importante contaminación y acumulación en el ambiente, un nivel considerable de exposición humana y graves problemas de salud pública.

El plomo se encuentra en el ambiente en forma natural. Sin embargo, la mayoría de los niveles elevados que se presentan en un determinado medio son producto de actividades humanas, tales como la minería, la industria metalúrgica, elaboración de pinturas, construcción de automóviles (baterías y radiadores), e inclusive en los hogares (tuberías oxidadas, juguetes hechos con plomo, entre otros), sitios en los que se pueden encontrar niveles elevados de este elemento en la sangre de los niños, ocasionándoles déficit en la atención, trastornos en el aprendizaje, retardo en el desarrollo físico, mental y psicomotor, además de estar asociado a enfermedades neurológicas, las cuales son más críticas en el feto en desarrollo y el niño en crecimiento, que en los adultos, en los que pueden presentarse trastornos renales e hipertensión arterial³⁶.

La magnitud de la contaminación por este elemento en poblaciones urbanas, como en la Ciudad de México, ha llevado a considerar que aun en el caso ideal de que se abatiera completamente la contaminación por fuentes exógenas, habría que enfrentar durante varias décadas los efectos negativos de las fuentes residuales³⁶. En la Tabla 1 se muestran datos sobre el efecto relativo de la exposición al plomo en los niveles de mortalidad de seis países de América Latina, de los que se dispone datos al respecto.

Desde el inicio de la era industrial, los niveles de mercurio (Hg) en el ambiente han aumentado considerablemente, hasta alcanzar concentraciones que afectan los ecosistemas y la salud humana³⁷. El mercurio es un problema mundial debido a su capacidad de persistencia en el ambiente, a la bioacumulación en las cadenas alimenticias, y a sus efectos en la salud humana (i.e. daños irreversibles en el sistema nervioso central, nefrotoxicidad, malformaciones congénitas, daños al sistema cardiovascular) y el ambiente. La exposición humana al metil-mercurio, una de sus formas, ocurre principalmente a través del consumo de pescado³⁸.

El Hg⁰ (óxido de mercurio) se encuentra en el ambiente por la erosión de los depósitos naturales, efluentes de refinerías y fábricas, lixiviados de vertederos y de suelos cultivados, así como el cadmio originado por la corrosión de tubos galvanizados, y por la erosión de depósitos naturales, efluentes de refinerías de metales, líquidos de baterías usadas y de pinturas³³. Paradójicamente, se ha reportado que los centros de salud contribuyen con un 4-5% del total de mercurio presente en aguas residuales³⁷.

El benceno es un contaminante gaseoso que se utiliza como componente en los combustibles para motores, como disolvente para grasas, ceras, resinas, aceites, tintas, pinturas, plásticos y caucho. Se emplea en la extracción de aceites de semillas y nueces, y en la impresión de fotograbado. También se utiliza en la fabricación de detergentes, explosivos, productos farmacéuticos y colorantes^{39,40}.

Cualquier individuo está expuesto al benceno como resultado del humo directo e indirecto del cigarrillo, del uso doméstico de disolventes y gasolina, y tanques de almacenamiento subterráneos con fugas. Se absorbe en el cuerpo humano por varias vías, incluyendo la inhalación, el contacto dérmico y la ingestión. La exposición a este compuesto gaseoso, incluso a dosis bajas, tiene relación con una variedad de efectos adversos agudos y crónicos para la salud, incluyendo somnolencia, mareos, dolor de cabeza, inconsciencia y, en exposiciones a niveles muy elevados, la muerte^{34,35}. La exposición crónica a este contaminante produce aberraciones cromosómicas (estructurales y numéricas) en los seres humanos, así como una mayor incidencia de leucemia⁴¹⁻⁴³. Se ha demostrado que los niveles de benceno son mayores en los vehículos de motor, con concentraciones elevadas al interior de los vehículos de hasta ocho veces más grandes a las registradas en el ambiente. En consecuencia, la exposición al benceno de un individuo, aún en periodos relativamente breves (1 hora), puede ser más elevada durante las actividades relacionadas con los vehículos, como desplazarse en coche o en autobús, y durante las actividades en las gasolineras⁴⁴⁻⁴⁷.

Cambio climático global: efectos en la salud del ambiente y del humano

Los efectos del cambio climático en la salud humana pueden ser directos (como consecuencia de temperaturas relativamente altas o bajas, afectaciones por inundaciones y tormentas) e indirectos (alterando la dinámica de la transmisión de enfermedades infecciosas, como la disponibilidad y calidad del agua, del aire, y de los alimentos)⁴⁸.

Una de las principales amenazas para la biodiversidad (incluida la especie humana) es el cambio climático global, el cual se define como el resultado de la alteración de los sistemas biofísicos y ecológicos de la tierra a una escala mundial. La tasa de calentamiento global en los últimos 50 años (0,13 °C por década) representa casi el doble que en los últimos 100 años, con temperaturas proyectadas para el Siglo XXI dos o tres veces mayores que en el Siglo XX (entre 0,3 y 0,4°C/década)^{49,50}. Se ha estimado que para el año 2100, el 12,6% de las plantas, el 9,4% de los invertebrados y el 17,7% de los vertebrados, probablemente se extinguirán debido a los efectos del cambio climático⁵¹.

Los ciclos biológicos están siendo alterados por el efecto del calentamiento global, generando temperaturas extremas, eventos meteorológicos severos, sequías, inundaciones, aumento del nivel del mar y de sus temperaturas superficiales, acidificación de los océanos, derretimiento de los glaciares, presiones sobre los sistemas terrestres y marinos productores de alimentos, agotamiento de las reservas de agua dulce, diseminación generalizada de contaminantes orgánicos persistentes, aumento en la morbilidad asociada a variaciones climáticas extremas, así como de enfermedades infecciosas^{48,52}.

Es probable que los impactos del cambio climático sean más críticos en regiones con un desarrollo humano precario. La deforestación y la degradación de los bosques tienen impactos negativos en la biodiversidad: desaparición de bosques y pérdida de hábitat, así como disminución, desplazamiento o extinción poblacional de especies de plantas y animales⁵³⁻⁵⁵. Asimismo, los gases de efecto invernadero emitidos por la tala y quema de bosques, y la emisión de diversos gases en centros industriales, contribuyen al cambio climático, que en sí mismo representa una amenaza a la biodiversidad.

Temperaturas muy bajas pueden causar estrés térmico o hipotermia, lo cual puede provocar defunciones por cardiopatías y enfermedades respiratorias⁷. A su vez, las ondas de calor generadas por el cambio climático pueden tener un impacto significativo sobre la mortalidad, principalmente en personas mayores de 65 años que viven en ciudades, debido al efecto "isla de calor urbano", donde la temperatura del aire es más elevada

en el área urbana que en los alrededores rurales⁵⁶, así como a cambios intrínsecos en su sistema termorregulador⁵⁶⁻⁵⁸. A su vez, los niños y bebés, cuya capacidad de termorregulación es más limitada que en los adultos, también están en riesgo de ser afectados por la deshidratación y los efectos del denominado "golpe de calor". Se estima que por cada grado centígrado (°C) de incremento en la temperatura promedio global, se producirá un aumento de 2 a 5% en el número de muertes por olas de calor⁵⁸.

Aproximadamente 33% de los hogares ubicados en áreas con clima cálido en México no cuentan con al menos un ventilador o con equipo de aire acondicionado⁵⁶. Tal condición aumenta la probabilidad de enfermedades relacionadas con la aparición de eventos de calor extremo, lo que representa un problema de salud pública que podrá acentuarse en el mediano y largo plazo por los efectos del cambio climático⁵⁶. En contraste, entre los muy pocos efectos "positivos" del cambio climático, estaría la reducción de la morbi-mortalidad por enfermedades respiratorias agudas asociadas a bajas temperaturas en zonas típicamente frías, i.e. aquellas de mayor altitud o latitud¹⁶.

Por otra parte, si bien se ha descrito que los procesos de industrialización son responsables de la mayor parte del cambio climático, las zonas rurales tampoco escapan a este fenómeno. En numerosas comunidades, la leña es la principal fuente de energía en la vivienda, y el cambio del uso del suelo para la creación de pastos para la producción de ganado o de zonas habitacionales en zonas que fueron ocupadas por bosques y selvas, también contribuyen a la generación de gases de efecto invernadero.

Los efectos del cambio climático repercutirán en el ámbito económico, social y ambiental y alterarán la dinámica de las sociedades en una variedad de formas que estamos empezando a comprender y experimentar. Millones de personas sobreviven en la pobreza extrema y muchos de ellos dependen de los recursos naturales de su entorno. La pobreza y la desigualdad social empeorarán con el cambio climático debido a que los grupos desfavorecidos no disponen de recursos suficientes para hacer frente a sus efectos (i.e. inundaciones extremas o sequías), lo que implicará movimientos migratorios, cambios y empeoramiento en las condiciones de vida.

Las inundaciones y los huracanes figuran entre los desafíos climáticos más amenazantes para la salud humana. Existen, sin embargo, pocos estudios que hayan estimado las consecuencias sanitarias futuras debidas a estos fenómenos asociados con el cambio climático. Una revisión reciente de la literatura epidemiológica ha descrito la diversidad de efectos potenciales sobre la salud y riesgos sanitarios debidos a las inundaciones: ahogamientos, lesiones, enfermedades mentales, emergencia y re-emergencia de enfermedades gastrointestinales, transmitidas

por vectores e infecciosas⁵, en donde nuevamente, los grupos desfavorecidos son los más vulnerables, debido a que la mayoría se encuentran habitando asentamientos de alto riesgo. En este sentido, gran parte del crecimiento urbano actual carece de planificación e infraestructura adecuada, lo que se traduce en costos económicos, sociales y ambientales elevados. Las zonas marginadas de numerosas áreas urbanas y semiurbanas se han degradado debido a una mayor demanda de servicios ambientales (e.g. regulación y abasto de los mantos freáticos, regulación del micro-clima), a la contaminación y propagación de focos de infección y, en general, a la enorme presión y sobreexplotación de los recursos naturales.

Adicionalmente, las zonas de alta marginación socioeconómica están en mayor riesgo de generar nichos de oportunidad para la propagación de organismos vectores de enfermedades transmisibles (e.g. dengue, paludismo, zika), lo que probablemente aumentará a medida que los incrementos en la temperatura se manifiesten. La dinámica de la transmisión de enfermedades infecciosas está determinada por factores que incluyen condiciones sociales, económicas, climáticas, geográficas y ecológicas, así como por las características del sistema inmunológico del ser humano y de los reservorios animales⁶⁻⁸. Los agentes infecciosos (protozoarios, bacterias, y virus) y sus vectores (mosquitos, garrapatas, flebótomos) no poseen un mecanismo de termorregulación, y sus tasas de reproducción y transmisión dependen estrechamente de las fluctuaciones de la temperatura ambiental, de los factores abióticos como la precipitación pluvial, la altitud, la disponibilidad de hábitat y reservorios naturales, entre otros factores.

De manera global, se ha documentado que algunas enfermedades transmitidas por vectores (por ejemplo, la leishmaniasis transmitida por flebótomos, y la encefalitis transmitida por garrapatas), pueden alterar su distribución espacio-temporal debido a cambios de los factores abióticos (e.g. incremento en la temperatura regional) y bióticos (e.g. ausencia de competidores o enemigos naturales). Un análisis de la tendencia global de la emergencia de enfermedades infecciosas señala que la transmisión por vectores representa un 23% del total de enfermedades reportadas para el periodo entre 1940-2004¹³. El incremento en la incidencia de enfermedades transmitidas por vectores, ha coincidido con anomalías en el clima, registradas en la década de 1990⁵², lo que sugiere que el cambio climático ha posibilitado tal emergencia, debido fundamentalmente a cambios ambientales, como la precipitación pluvial y la temperatura⁶. Por ejemplo, la re-emergencia de dengue en Hawái, las Islas Galápagos, Hong Kong, Buenos Aires, y algunas regiones de Francia, ha estado vinculada con el registro de condiciones 'atípicas' climáticas favorables al establecimiento de poblaciones de vectores⁵⁹.

Tabla 2. Emergencia y re-emergencia de enfermedades infecciosas y su asociación con variaciones climáticas.

País	Enfermedad/Vector	Observaciones	Ref.
Brasil	Leishmaniasis cutánea (LC)	<i>Lutzomyia (Nyssomyia) flaviscutellata</i> es uno de los vectores de <i>Leishmania amazonensis</i> (Lainson-Shaw). <i>L. amazonensis</i> es el parásito que causa leishmaniasis cutánea (LC) en humanos. El vector tiene varios reservorios animales: roedores, marsupiales, osos hormigueros, armadillos y perezosos. La distribución de <i>L. flaviscutellata</i> y <i>L. amazonensis</i> ocurre principalmente en la región central Amazónica. Se estima que para el año 2050, cambios moderados en la temperatura y precipitación, favorecerán la expansión de <i>L. flaviscutellata</i> hacia el sureste de Brasil y a países como Bolivia, Perú, Colombia y Venezuela. Asimismo, el vector ocupará altitudes en un rango de 1,545 a 2,213 metros sobre el nivel del mar, lo cual repercutirá en la transmisión de la LC en poblaciones donde no existía la enfermedad.	62
Colombia	Virus del Zika	En Colombia, durante el año 2015, se diagnosticó un número importante de casos de Zika asociados con la aparición del fenómeno del niño durante las estaciones de invierno y primavera. Durante este periodo se registraron temperaturas cálidas, seguidas por un periodo de sequía, condiciones extremas del clima que favorecieron la tasa de reproducción de <i>Aedes aegypti</i> y del virus del Zika.	63,64
Ecuador	Diarreas (Rotavirus, <i>Escherichia coli</i>)	Un estudio determinó la tasa de incidencia de diarrea en 19 comunidades de Ecuador para el periodo 2004-2007. Las tasas de incidencia de diarrea incrementaron con eventos de precipitación importantes (24 mm por hora), y decrecieron en periodos relativamente secos.	65
México	Dengue	Se evaluó y modeló retrospectivamente la incidencia de casos de dengue en el área de Matamoros, Tamaulipas, y la asociación entre el microclima, variables asociadas al fenómeno del 'Niño' (temperatura superficial del mar) y tiempo (temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación), a lo largo de 11 años (1995-2005). El estudio demostró que la incidencia de dengue aumentó 2.6% una semana después de cada incremento de 1°C en la temperatura máxima semanal. También se observó que los casos de dengue aumentaron 1.9% dos semanas después de cada centímetro de incremento en la precipitación semanal. 1°C de aumento en la temperatura superficial del mar en la región de afectación del 'Niño', fue precedida 18 semanas después, por un aumento de 19.4% en la incidencia de casos de dengue.	66
Venezuela	Paludismo	Después de la aparición del fenómeno del 'Niño', se registró un incremento importante en las tasas de mortalidad y morbilidad, asociadas con el paludismo en Venezuela. La tasa de mortalidad de paludismo fue más alta en el periodo de sequía, luego de los primeros brotes epidémicos. Una asociación comparable se encontró en otros países como Colombia, Guyana, Perú, Venezuela, Ecuador y Brasil	67,68
Perú	Enfermedad de Carrión	La enfermedad de 'Carrión' o fiebre de la oroya es causada por <i>Bartonella bacilliformis</i> y transmitida por la picadura del flebótomo <i>Lutzomyia verrucarum</i> . La enfermedad es endémica en algunas áreas de Perú, principalmente en Caraz localizado al norte del país. En el periodo de 1997-1998 con la ocurrencia del fenómeno del 'Niño', la enfermedad se expandió a Cuzco donde no se había reportado. Las variaciones climáticas asociadas al fenómeno del 'Niño' así como variaciones en la humedad, el incremento en la precipitación pluvial y la temperatura, fueron los factores climáticos asociados a la transmisión de la enfermedad.	69

En regiones tropicales y subtropicales, el dengue se transmite por la picadura del mosquito *Aedes aegypti*; el vector requiere de temperaturas cálidas para su persistencia y la replicación del virus dentro del mismo. En contraste, *Aedes albopictus*, un vector secundario del dengue, es un mosquito más adaptado a climas templados como Europa y América del Norte¹⁵. La rápida emergencia del dengue está relacionada con los cambios demográficos y sociales en las décadas 50 y 60 del siglo pasado, que incluyen un crecimiento poblacional importante, movimientos migratorios (incluidos los del agente patógeno), urbanización no planificada, cambios atípicos en las temperaturas regionales y poco o nulo acceso a los servicios de salud y programas de control de vectores⁵⁹.

En suma, la emergencia y reemergencia de algunas enfermedades infecciosas, principalmente aquellas transmitidas por vectores, y su asociación al cambio climático, representa un fenómeno global y de consecuencias diferenciales (mayormente negativas) en las regiones más desprotegidas. En términos generales, el cambio climático como consecuencia de la variación natural del planeta, y de aquella inducida por las actividades antropocéntricas, constituyen detonadores importantes del aumento en la incidencia, tanto de enfermedades no infecciosas, tal como es el caso de ciertos tipos de cáncer (sobre todo los asociados a la exposición de radiación ultravioleta) e intoxicaciones, entre otras⁶⁰, así como de enfermedades infecciosas⁶¹. En la Tabla 2 se muestran datos sobre la emergencia y reemergencia de enfermedades infecciosas y su asociación con variaciones climáticas.

Conclusiones

La salud ambiental representa una plataforma multidisciplinaria que permite describir, interpretar y predecir el destino de las interrelaciones del ser humano con el ambiente, incluyendo a otros seres vivos. Si bien los factores socio-económicos han representado tradicionalmente los factores condicionantes de la salud, este marco de referencia ha cambiado al incorporar al ser humano como parte de un sistema ecológico integral, en donde las variaciones o respuestas atípicas de sus componentes, podrían poner en riesgo la estabilidad del sistema y la estabilidad social de la población humana en el largo plazo. La problemática ambiental y los procesos de contaminación tienen hoy en día un alto impacto sobre la salud de la población humana –y de muchos otros seres vivos–, manifestándose en el ritmo sostenido del incremento de patologías vinculadas a la calidad ambiental. Debido a ello, es necesario fortalecer protocolos de diagnóstico y monitoreo para la evaluación de las condiciones ambientales, que incluyan la posible propagación de organismos contaminantes peligrosos y la mitigación de los efectos adversos al ser humano y de su entorno. Los desafíos económicos y sanitarios que enfrenta la población humana como consecuencia del cambio climático, alertan sobre la necesidad de analizar los escenarios de riesgo y establecer programas realmente efectivos de mitigación al cambio climático global.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo e información estadística del Laboratorio de Análisis e Información Geográfica (LAIGE) de ECOSUR. Se agradece el financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología a través del proyecto '000000000258792-CB-2015-01', otorgado al primer autor.

Bibliografía

1. Beddington J. Food, energy, water and the climate: a perfect storm of global events. in Sustainable Development UK Annual Conference, QEII Conference Centre 9 (Food, energy, water and the climate: a perfect storm of global events?, 2009).
2. Godfray HCJ, Beddington SR, Crute IR, Haddad L Lawrence D, Muir JF, et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*. 2010;327:812-8.
3. Canals M, Cattán P. Zoología médica. Una visión de las especies potencialmente peligrosas desde la perspectiva de la biodiversidad. Generalidades y protozoos. (Editorial Universitaria Santiago de Chile, 2006).
4. Caliendo AM, Gilbert DN, Ginocchio CC, Hanson KE, May L, Quinn TC, et al. Better tests, better care: improved diagnostics for infectious diseases. *Clin. Infect. Dis. Off. Publ. Infect. Dis. Soc. Am.* 2013;57 Suppl 3: S139-17.
5. Ahern M, Kovats RS, Wilkinson P, Few R, Matthies F. Global health impacts of floods: epidemiologic evidence. *Epidemiol Rev.* 2005;27:36-46.
6. Patz JA, Campbell-Lendrum D, Holloway T, Foley JA. Impact of regional climate change on human health. *Nature*. 2005;438:310-7.
7. McMichael AJ, Woodruff RE, Hales S. Climate change and human health: present and future risks. *Lancet*. 2006;367:859-69.
8. Wu X, Lu Y, Zhou S, Chen L, Xu B. Impact of climate change on human infectious diseases: Empirical evidence and human adaptation. *Environ Int.* 2016;86:14-23.
9. Galdos-Balzategui A, Carmona de la Torre J, Sánchez-Pérez HJ, Morales-López JJ, Torres-Dosal A, Gómez-Urbina S. Evaluación cuantitativa del riesgo microbiológico por consumo de agua en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. *Tecnol. Cienc. Agua* 2017;8:133-53.
10. Secretaría de Gobernación, México, Gobierno de México. Norma Oficial Mexicana OM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Diario Oficial de la Federación (2018). Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2063863&fecha=31/12/1969. (Accessed: 6th February 2018).
11. OMS. Agua. WHO Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>. (Accessed: 13th January 2018).
12. OMS. Enfermedad por el virus del Ebola. WHO (2017). Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs103/es/>. (Accessed: 21st June 2017).
13. Jones KE, Patel NG, Levy MA, Storeygard A, et al. Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*. 2008;451:990-3.
14. Messina JP, Brady OJ, Scott TW, Zou C, Pigott DM, Duda KA, et al. Global spread of dengue virus types: mapping the 70 year history. *Trends Microbiol.* 2014;22:138-46.
15. Messina JP, Brady OJ, Pigott DM, Golding N, Kraemer MU, Scott TW, et al. The many projected futures of dengue. *Nat Rev Microbiol.* 2015;13:230-9.
16. Langford IH, and Bentham G. The potential effects of climate change on winter mortality in England and Wales. *Int J Biometeorol.* 1995;38:141-7.
17. Rengifo Cuéllar H. Conceptualización de la salud ambiental: teoría y práctica (parte 1). *Rev Peru Med Exp Salud Publica.* 2008;25:403-9.
18. Sarukán J, Koleff P, Carabias J, Soberón J, Dirzo R, Llorente-Bousquets J, et al. Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009.
19. PNUD. América Latina y el Caribe: una superpotencia de biodiversidad. Un documento de política. 2017.
20. Institute for Health Metrics and Evaluation. Global Burden of Disease Study 2016 (GBD 2016) Data Resources. GBD Compare Data Visualization. Seattle, WA: IHME, University of Washington, 2016. Disponible en: <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/>. (Accessed: 13th October 2017).

21. Trejo I, Dirzo R. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biol. Conserv.* 2000;94:133-42.
22. Challenger A. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro. *CONABIO*. 1998.
23. Flamenco-Sandoval A, Martínez Ramos M, Masera OR. Assessing implications of land-use and land-cover change dynamics for conservation of a highly diverse tropical rain forest. *Biol. Conserv.* 2007;138:131-45.
24. Vaca RA, Golicher DJ, Cayuela L, Hewson J, Steininger M. Evidence of Incipient Forest Transition in Southern Mexico. *PLOS ONE*. 2012;7:e42309
25. Mas JF, Velázquez A, Díaz-Gallegos JR, Mayorga-Saucedo R, Alcántara C, Bocco G, et al. Assessing land use/cover changes: a nationwide multirate spatial database for Mexico. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation*. 2004;5:249-61.
26. Velázquez A, Mas J, Palacio-Prieto J, Bocco G. Land cover mapping to obtain a current profile of deforestation in Mexico. *Unasylva*. 2002;210:37-40.
27. Wilder-Smith A, Quam M, Sessions O, Rocklov J, et al. The 2012 dengue outbreak in Madeira: exploring the origins. *Euro Surveill. Bull. Eur. Sur Mal. Transm. Eur. Commun. Dis. Bull.* 2014;19:20718.
28. CEPAL, OPS. Evaluación de la epidemia de dengue en el Estado Plurinacional de Bolivia en 2009. 65 (Comisión Económica para América Latina y el Caribe. 2010.
29. Delisle E, Rousseau C, Broche B, Leparc-Goffart I, L'Ambert G, Cochet A, et al. Chikungunya outbreak in Montpellier, France, September to October 2014. *Euro Surveill. Bull. Eur. Sur Mal. Transm. Eur. Commun. Dis. Bull.* 2015;20(17):21108.
30. Berberian G, Rosanova MT. Impacto del cambio climático en las enfermedades infecciosas. *Arch. Argent. Pediatría*. 2012;110:39-45.
31. WHO. Epidemiología. WHO (2017). Disponible en: <http://www.who.int/topics/epidemiology/es/>. (Accessed: 10th October 2017)
32. Steenland K, Savitz D. *Topics in Environmental Epidemiology*. Oxford University Press. 1997.
33. Romero Placeres M, Álvarez Toste M, Álvarez Pérez A. Los factores ambientales como determinantes del estado de salud de la población. *Rev Cuba Hig Epidemiol*. 2007;45:1-6.
34. US, EPAO. Evolution of the Clean Air Act. US EPA. 2015. Disponible en: <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/evolution-clean-air-act>. (Accessed: 21st June 2017)
35. Suh HH, Bahadori T, Vallarino J, Spengler JD. Criteria air pollutants and toxic air pollutants. *Environ Health Perspect*. 2000;108:625-33.
36. Sanín LH, González T, Romieu I, Hernández M. Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud. *Salud Pública de México*. 1998;40(40):359-68.
37. Gaioli M, Amoedo D, González D. Impact of mercury on human health and the environment. *Arch Argent Pediatr*. 2012;110:259-64.
38. Starling P, Charlton K, McMahon AT, Lucas C. Fish intake during pregnancy and foetal neurodevelopment--a systematic review of the evidence. *Nutrients*. 2015;7:2001-14.
39. Pohanish RP. *Sitting's Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals and Carcinogens*. United States of America, Elsevier. 2011.
40. O'Neil M, Heckelman PE, Koch CB, Roman KJ/eds. Benzene. En: *The Merck index: An encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals*. 14th ed. Merck and Co. Inc., 2006.
41. Rinsky RA, Young RJ, Smith AB. Leukemia in benzene workers. *Am. J. Ind. Med.* 1981;2:217-45.
42. Rinsky RA. Benzene and leukemia: an epidemiologic risk assessment. *Environ. Health Perspect*. 1989;82:189-91.
43. Duarte-Davidson R, Courage C, Rushton L, Levy L. Benzene in the environment: an assessment of the potential risks to the health of the population. *Occup. Environ. Med.* 2001;58:2-13.
44. Wallace LA. The exposure of the general population to benzene. *Cell Biol. Toxicol.* 1989;5: 297-314.
45. Jo WK, Park KH. Concentrations of volatile organic compounds in the passenger side and the back seat of automobiles. *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.* 1999;9:217-27.
46. Weisel C, Yu R, Roy A, Georgopoulos P. Biomarkers of environmental benzene exposure. *Environ. Health Perspect*. 1996;104:1141-6.
47. Lawryk NJ, Liyo PJ, Weisel CP. Exposure to volatile organic compounds in the passenger compartment of automobiles during periods of normal and malfunctioning operation. *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.* 1995;5:511-31.
48. OMS, OMM, PNUMA. Cambio climático y salud humana: riesgos y respuestas: Resumen. 40. Organización Mundial de la Salud. 2003.
49. Pounds JA, Fogden MPL, Campbell JH. Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature*. 1999;398:611-5.
50. Nogués-Bravo D, Rodríguez J, Hortal J, Batra P, Araújo MB. Climate Change, Humans, and the Extinction of the Woolly Mammoth. *PLOS Biol.* 2008;6:e79.
51. Maclean IMD, Wilson RJ. Recent ecological responses to climate change support predictions of high extinction risk. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 2011;108:12337-42.
52. Houghton J, Ding Y, Griggs DJ, Noguer N, van der Linden PJ, Xiaosu D, Maskell K, Johnson CA. *Climate change 2001: The scientific basis. Contribution on working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel climate change*. Cambridge University Press. 2001.
53. Gutiérrez D, Thomas CD, León-Cortés JL. Dispersal, distribution, patch network and metapopulation dynamics of the dingy skipper butterfly (*Erynnis tages*). *Oecologia*. 1999;121:506-17.
54. León-Cortés JL, Cowley MJR, Thomas CD. Detecting decline in a formerly widespread species: how common is the common blue butterfly *Polyommatus icarus*? *Ecography*. 1999;22:643-50.
55. Molina-Martínez A, León-Cortés JL, Regan HM, Lewis OT, Navarrete D, Caballero U, et al. Changes in butterfly distributions and species assemblages on a Neotropical mountain range in response to global warming and anthropogenic land use. *Divers. Distrib.* 2016;22:1085-98.
56. García-Ochoa R, Graizbord B. Caracterización espacial de la pobreza energética en México. Un análisis a escala subnacional. *Econ. Soc. Territ.* 2016;16:289-37.
57. Robine JM, Cheung SL, Le Roy S, Van Oyen H, Griffiths C, Michel JP, et al. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *C. R. Biol.* 2008;331:171-8.

58. WHO, WMO. Atlas of health and climate 68 World Health Organization and World Meteorological Organization. 2012.
59. Guzman MG, Harris E. Dengue. *Lancet Lond. Engl.* 2015;385:453-65.
60. United Nations Environment Programme, Environmental Effects Assessment Panel. Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: progress report, 2015. *Photochem. Assoc. Eur. Soc. Photobiol.* 2016;15:141-74.
61. Sumilo D, Bormane A, Asokliene L, Vasilenko V, Golovjova I, Avsic-Zupanc T, et al. Socio-economic factors in the differential upsurge of tick-borne encephalitis in Central and Eastern Europe. *Rev. Med. Virol.* 2008;18:81-95.
62. González C, Wang O, Strutz SE, González-Salazar C, Sánchez-Cordero V, Sarkar S. Climate change and risk of leishmaniasis in north america: predictions from ecological niche models of vector and reservoir species. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 2010;4:e585.
63. Paz S, Semenza JC. El Niño and climate change--contributing factors in the dispersal of Zika virus in the Americas? *Lancet Lond. Engl.* 2016;387:745.
64. Nishiura H, Mizumoto K, Villamil-Gómez WE, Rodríguez-Morales AJ. Preliminary estimation of the basic reproduction number of Zika virus infection during Colombia epidemic, 2015-2016. *Travel Med. Infect. Dis.* 2016;14:274-6.
65. Carlton EJ, Eisenberg JN, Goldstick J, Cevallos W, Trostle J, Levy K. Heavy rainfall events and diarrhea incidence: the role of social and environmental factors. *Am. J. Epidemiol.* 2014;179:344-52.
66. Brunkard JM, Cifuentes E, Rothenberg SJ. Assessing the roles of temperature, precipitation, and ENSO in dengue re-emergence on the Texas-Mexico border region. *Salud Publica Mex.* 2008;50:227-34.
67. Bouma MJ, Dye C. Cycles of malaria associated with El Niño in Venezuela. *JAMA.* 1997;278:1772-4.
68. Gagnon AS, Smoyer-Tomic KE, Bush ABG. The El Niño southern oscillation and malaria epidemics in South America. *Int. J. Biometeorol.* 2002;46:81-9.
69. Zhou J, William KML, Masuoka FM, Andre RG, Chamberlain J, Phillip L, et al. El Niño Helps Spread Bartonellosis Epidemics in Peru. *Eos Trans. Am. Geophys. Union.* 2002;83:157-61.