

Cambio climático, salud y contexto social: un vínculo indisoluble



Enrique Sánchez Salinas | María Luisa Castrejón Godínez
Ma. Laura Ortiz Hernández | Efraín Tovar Sánchez
(editores)

Cambio climático, salud y contexto social: un vínculo indisoluble

Enrique Sánchez Salinas
Ma. Laura Ortiz Hernández
María Luisa Castrejón Godínez
Efraín Tovar Sánchez
(editores)



Cambio climático, salud y contexto social : un vínculo indisoluble / Enrique Sánchez Salinas, Ma. Laura Ortiz Hernández, María Luisa Castrejón Godínez, Efraín Tovar Sánchez, (editores). -- Primera edición. -- México : Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 2024.

186 páginas : ilustraciones

“Cátedra UNESCO denominada Cambio Climático y Desarrollo Sostenible en América Latina de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.”- - Reverso de la cubierta

ISBN 978-607-8951-50-5

1. Cambios climáticos 2. Salud pública – Aspectos ambientales

LCC QC903

DC 551.6

Esta publicación fue dictaminada por pares académicos bajo la modalidad doble ciego.

Cambio climático, salud y contexto social: un vínculo indisoluble
Primera edición, julio 2024

D.R. 2024, Enrique Sánchez Salinas, Ma. Laura Ortiz Hernández,
María Luisa Castrejón Godínez y Efraín Tovar Sánchez (editores)

D.R. 2024, Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Av. Universidad 1001, col. Chamilpa, C.P. 62209,
Cuernavaca, Morelos
publicaciones@uaem.mx
libros.uaem.mx

Corrección de estilo y formación: Eliezer Cuesta Gómez
Diseño de portada: Julio César Saavedra Genis

ISBN: 978-607-8951-50-5
DOI: 10.30973/2024/cambio_climatico_salud



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Licencia Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).

Hecho en México

Contenido

Prólogo	5
La variabilidad climática: evidencias y consecuencias <i>María Luisa Castrejón Godínez</i> <i>Alexis Joavany Rodríguez Solís</i> <i>Enrique Sánchez Salinas</i> <i>Ma. Laura Ortiz Hernández</i>	7
La salud pública en un contexto de cambio climático <i>Patricia Mussali Galante</i> <i>Efraín Tovar Sánchez</i> <i>Ma. Laura Ortiz Hernández</i> <i>Enrique Sánchez Salinas</i>	27
Indicadores e índices de salud y cambio climático <i>Alexis Joavany Rodríguez Solís</i> <i>Enrique Sánchez Salinas</i> <i>Ma. Laura Ortiz Hernández</i> <i>María Luisa Castrejón Godínez</i>	59
La percepción de riesgo y la actitud hacia el cambio climático <i>Gabriel Dorantes Argandar</i> <i>Emmanuel Poblete Trujillo</i> <i>Josimar Evanivaldo Hernández Torres</i>	97
Educación ambiental, ¿una estrategia para hacer frente al cambio climático? <i>Mónica Ramírez López</i>	113

Desarrollo humano en condiciones de cambio climático

Enrique Sánchez Salinas

Ma. Laura Ortiz Hernández

María Luisa Castrejón Godínez

Alexis Joavany Rodríguez Solís

145

Sobre los autores

183

Prólogo

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change o IPCC, por sus siglas en inglés) ha definido el cambio climático como “cualquier cambio en el clima a través del tiempo, ya sea debido a su variabilidad natural o como resultado de la actividad humana”. A nivel internacional se reconoce al cambio climático como “la más grande amenaza global para la salud del siglo XXI” y representa una base importante del desarrollo socioeconómico. El IPCC publicó su primer informe en 1990, desde entonces ha sostenido que “el calentamiento global es inequívoco, como evidencian los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos y el aumento del promedio mundial del nivel del mar”.

El incremento de la temperatura media global fue de 0.74 °C durante el transcurso de los últimos cien años del siglo XX y es resultado de las actividades humanas; además, las precipitaciones han aumentado entre un 5 % y 10 % en la mayor parte de las latitudes medias y altas de los continentes del hemisferio norte, pero las precipitaciones han disminuido en un promedio del 3 % sobre una gran parte de las áreas terrestres subtropicales. Muchos expertos han reiterado que las manifestaciones del cambio de clima y los eventos meteorológicos extremos serán más frecuentes y severos conforme avance el siglo XXI.

Los cambios en los patrones climáticos pueden alterar la incidencia de algunas enfermedades humanas de manera directa e indirecta. Los efectos directos provocan cambios fisiológicos por calor y frío, mientras que los indirectos están relacionados con la dinámica de las poblaciones de vectores transmisores de enfermedades infecciosas, lo que ocasiona que amplíen su intervalo de distribución geográfica o emerjan en sitios donde habían sido erradicados; además, se consideran las infecciones ocasionadas por la ingesta de agua y alimentos contaminados. México es uno de los países más vulnerables al cambio climático. Los impactos de este fenómeno en nuestro país ya se resienten en diversas regiones

y deben ser considerados un tema de seguridad estratégica por parte del gobierno en turno. Estudios recientes reportan que el aumento en la temperatura ambiental incrementa la mortalidad por golpe de calor y una mayor incidencia en casos de dengue, paludismo y enfermedades diarreicas, además de una mayor mortalidad por enfermedades respiratorias relacionada con el aumento en la temperatura ambiente y la contaminación atmosférica.

Por otro lado, las circunstancias socioeconómicas nacionales han provocado un bajo nivel de desarrollo humano, el aumento de la pobreza y un mayor grado de marginación de amplios sectores de la población. La insatisfacción de un conjunto de necesidades consideradas esenciales incorpora la falta de capacidades e importantes limitaciones para superar las condiciones de marginación social.

Ante este panorama la formulación de políticas socioeconómicas no es suficiente y deben desarrollarse innovadoras estrategias de carácter integral que promuevan la construcción de resiliencia social, con el objeto de mejorar las condiciones de vida de las personas más vulnerables a los efectos del cambio climático. Así, el papel de la educación ambiental cobra particular importancia en el desarrollo de la resiliencia comunitaria ante la magnitud y complejidad de problemas ambientales globales como el cambio climático.

La variabilidad climática: evidencias y consecuencias

María Luisa Castrejón Godínez
Alexis Joavany Rodríguez Solís
Enrique Sánchez Salinas
Ma. Laura Ortiz Hernández

Variabilidad climática

La variabilidad climática hace referencia a las oscilaciones de los componentes del clima como la temperatura y las precipitaciones, entre otros, que pueden ocurrir durante períodos cortos y se expresa mediante la valoración de las anomalías, la cual se obtiene de la diferencia entre el valor registrado de la variable y su promedio (Melo et al., 2018). Esta también refiere a otras características estadísticas del clima en todas las escalas temporales y espaciales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede atribuirse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropogénico (variabilidad externa) (Grove, 2021; Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2007; Thornton et al., 2014).

La variabilidad climática ocurre debido a factores naturales como erupciones volcánicas, variaciones en la órbita de la Tierra alrededor del Sol, entre otros, así como por factores antropogénicos: debido a la emisión de gases de efecto invernadero por el desarrollo de las actividades humanas, ocasionando impactos económicos, sociales y ambientales. Sánchez-Cohen et al. (2008) señalan que diferentes modelos matemáticos han mostrado que duplicar la cantidad de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera provocará un incremento en la temperatura global de entre 2 °C y 5 °C para los años 2030 y 2060. Además, los cambios en los patrones de precipitación afectan directamente a procesos productivos como la agricultura.

Se han reportado diferentes escalas de la variabilidad climática como la estacional, que corresponde a fluctuaciones climáticas a nivel mensual, y la intraestacional, la cual presenta dentro de las estaciones perturbaciones que determinan las condiciones de tiempo durante doce días. Con respecto a la escala interanual, esta corresponde a cambios en las variables climáticas cada año, y en la interdecadal, se presentan fluctuaciones climáticas que ocurren a lo largo de décadas (Berrío & Echeverri, 2020; Montealegre, 2009; Sánchez et al., 2020).

La variabilidad climática es un tema importante en la actualidad y existen diferentes enfoques de investigación a nivel internacional, como el análisis de tendencias crecientes y decrecientes en la temperatura y la precipitación, la disminución de hielo y nieve, procesos oceánicos y atmosféricos, la variabilidad climática asociada con el monzón de Asia oriental, los ciclones tropicales, lluvias y fenómenos meteorológicos extremos. Las investigaciones muestran que la variabilidad climática es la base para el desarrollo de políticas públicas e influye en el desempeño económico de una nación (Sánchez et al., 2020).

Consecuencias de la variabilidad climática y el cambio climático

La variabilidad climática presenta diversas consecuencias, tanto en el ambiente como en la salud humana. Desde que el planeta existe hace 4500 millones de años ha sufrido diversos cambios climáticos a lo largo de la historia, experimentando periodos de calentamiento y enfriamiento que han durado millones de años (Claudino-Sales, 2020; Scotese, 2015; Scott & Lindsey, 2020). En los últimos tiempos, las alteraciones observadas en el clima, sobre todo desde la segunda mitad del siglo XX, tienen una fuerte correlación con el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero resultantes de las actividades humanas (Bindoff et al., 2013; Easterling et al., 2016; Hegerl et al., 2019).

Algunos fenómenos generados por la variabilidad climática son el ciclo El Niño el cual es un fenómeno natural que se genera en el Pacífico tropical y se presenta con un aumento en la temperatura de la superficie del mar. Este patrón climático ocurre cada dos o siete años y puede presentar una duración que va de nueve meses a dos años. Los principales impactos que genera son: disminución

de las precipitaciones o intensas lluvias ocasionando deslizamientos del suelo, incremento de enfermedades, pérdidas agrícolas y pesqueras. Por otro lado, el fenómeno de La Niña origina una reducción de la temperatura de la superficie del mar, es la fase fría, que también se presenta en el Pacífico tropical y genera impactos negativos como sequías, inundaciones, deslizamientos del suelo, fenómenos meteorológicos extremos que causan tormentas y ciclones, daños en la infraestructura, afectaciones en el sector eléctrico y de salud humana, pérdidas agrícolas, ganaderas y económicas en general. Tanto el fenómeno de El Niño como de La Niña se pueden medir por la temperatura superficial del mar, los vientos alisios en El Niño soplan del este al oeste y en La Niña se fortalecen y empujan las aguas cálidas de la superficie hacia el oeste del Pacífico, también se puede medir a través de las precipitaciones, la observación de patrones climáticos (Almeida et al., 2020; Berhane & Tesfay, 2020; Montoya-Moreno et al., 2019; Riza & Minani, 2021; Salinger, 2005).

Otro ejemplo de variabilidad climática es el ciclo diurno de temperatura el cual se refiere a la variación diaria de la temperatura durante el día en la Tierra debido a la rotación terrestre. Cada mañana a medida que el Sol calienta la Tierra, la capa de aire cerca de la superficie se calienta y durante el atardecer disminuye la temperatura, por lo cual pueden alcanzar temperaturas de 35 °C en algunas partes del mundo y luego descender a temperaturas por debajo de los 28 °C (Chen et al., 2020; Poveda et al., 2001).

Por otro lado, la oscilación de Madden-Julian es un tipo de variabilidad climática intraestacional que se refiere a ondas de baja presión que viajan alrededor del mundo durante un periodo de 30 a 60 días en los trópicos. Estas ondas afectan tanto el océano como a la atmósfera. Su principal efecto en el océano son los cambios de temperatura superficial, y en la atmósfera contribuye al desarrollo de tormentas que afectan la agricultura y los recursos hídricos, generan inundaciones, deslizamientos del suelo, entre otros efectos. Se han utilizado varios métodos para predecir la oscilación de Madden-Julian a través de modelos de predicción numérica, observaciones satelitales meteorológicos y el análisis de patrones climáticos (Tedesco, 2018; Torres-Pineda & Pabón-Caicedo, 2017; Zhang, 2013; Zhang, Adames et al., 2020a).

Otro ejemplo de variabilidad climática es el evento de la oscilación cuasi-bienal, que es una oscilación cuasiperiódica de los vientos ecuatoriales estratosféricos tropicales con un período de aproximadamente 28 meses. Durante la oscilación cuasibienal la dirección del viento estratosférico tropical cambia, alternando entre vientos del oeste en invierno y vientos del este en verano a una altitud de 30 km. Además, puede tener efectos en la circulación atmosférica, tanto en la estratósfera como en la troposfera, y se ha demostrado que está relacionada con variaciones en la temperatura de la superficie del mar, la presión atmosférica y las precipitaciones. También se ha demostrado que la oscilación cuasibienal afecta a los afluentes de algunos embalses, sectores económicos y sociales (Riveros-Zarate et al., 2020).

Por su parte, el cambio climático representa uno de los principales retos de la humanidad debido a que no solo afecta a los sistemas físicos del planeta, sino que sus consecuencias también alcanzan a los sistemas biológicos y humanos (IPCC, 2014a; Malhi et al., 2021). Las consecuencias del cambio climático son múltiples, algunas de las principales consecuencias son: incremento de la temperatura global, deshielo de las capas glaciares terrestres, el aumento del nivel del mar, el incremento de eventos climáticos extremos, cambio en el comportamiento de algunas especies y amenazas a la biodiversidad, impactos negativos sobre la salud humana, animal y vegetal, así como impactos sobre los sistemas de producción agrícola (IPCC, 2014a). Estas consecuencias se describen a continuación:

Incremento de la temperatura global

Desde finales del siglo XIX, la temperatura de la Tierra ha aumentado $1.2\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. La temperatura se ha incrementado durante un periodo corto; desde 1850, los últimos 30 años han sido más cálidos que la década anterior, y los 30 años comprendidos entre 1983-2012 están registrados como el período más cálido de los últimos 800 años en el hemisferio norte. Las estimaciones del incremento de la temperatura global en todos los escenarios evaluados predicen que la temperatura global continuará aumentando. De acuerdo con la

Organización Meteorológica Mundial, existe un 20 % de probabilidad de que las temperaturas superen los 1.5 °C en 2024 (Ge et al., 2017; IPCC, 2014a; Kišš et al., 2022; Scott, 2021).

Deshielos

Dado el aumento de la temperatura global, las capas de hielo y nieve de la superficie terrestre están disminuyendo en su extensión, como consecuencia del deshielo de los glaciares, de los casquetes de hielo y de los mantos de hielo polares (Heshmati, 2021; IPCC, 2007). En ambos hemisferios terrestres los glaciares de las montañas y la capa de nieve han disminuido en promedio y, en consecuencia, algunos sistemas hidrológicos, principalmente ríos alimentados por glaciares y la capa de nieve, también se han visto afectados (IPCC, 2007; Su et al., 2022; Zhang et al., 2020b). La disminución observada en la cobertura de los glaciares desde 1960 ha provocado un aumento del derretimiento de Groenlandia desde 1993 y la pérdida del hielo marino del Ártico desde 1979, lo que ha ocasionado un aumento en la temperatura de la superficie marina y del nivel del mar (IPCC, 2014a).

Incremento del nivel del mar

Como efecto del cambio climático, desde 1961 el nivel del mar mundial ha aumentado en promedio 1.8 ± 0.5 mm por año; sin embargo, esta tasa de aumento se ha acelerado a un promedio de 3.1 ± 0.7 mm por año desde 1993 (IPCC, 2007). Durante el periodo comprendido entre los años 1901-2010 el nivel medio global del mar aumentó 0.19 ± 0.02 m y los sistemas costeros y las zonas bajas constituyen zonas de alto riesgo por el aumento del nivel del mar (IPCC, 2014a). De acuerdo con diversos escenarios, se estima que el nivel del mar aumente entre 0.4 y 1.5 m para 2100, lo que provocará la desaparición de determinadas islas, inundaciones, desplazamientos de población, amenazas a la biodiversidad, entre otras consecuencias (Heshmati, 2021).

Eventos climáticos extremos

La magnitud y frecuencia de los fenómenos climáticos extremos están relacionados con el incremento de gases de efecto invernadero y la variabilidad climática natural (Easterling , Kunkel et al., 2016; Hartmann et al., 2013; Stott, 2016). El incremento en la incidencia e intensidad de los eventos climáticos extremos representa un gran impacto sobre la sociedad y el ambiente. En los últimos años se han presentado diferentes eventos climáticos extremos que han causado graves pérdidas materiales, económicas y humanas (Easterling, Meehl et al., 2000; Easterling, Kunkel et al., 2016; Heshmati, 2021). Entre los principales eventos climáticos extremos destacan las modificaciones en los patrones de precipitación y temperatura, las cuales provocan inundaciones, sequías, tormentas tropicales y huracanes, heladas u olas de calor (Alexander, 2016; Alexander et al., 2006; Ebi et al., 2021; Herring et al., 2014).

Cambio en el comportamiento de algunas especies y amenazas a la biodiversidad

El cambio climático, principalmente el aumento de la temperatura global y los cambios en los patrones de precipitación afecta a las especies y los ecosistemas. Se estima que este fenómeno podría convertirse en una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad en el mundo en los próximos años (Habibullah et al., 2022; Sala et al., 2000; Thomas et al., 2004; Weiskopf et al., 2020). Estos impactos incluyen cambios en la distribución de las especies, en sus ciclos de vida, el desacoplamiento de las relaciones coevolutivas de las especies, efectos sobre la supervivencia y la fecundidad de los individuos, reducciones en el tamaño de la población, pérdida o fragmentación del hábitat e incremento de especies invasoras de animales, plantas y patógenos que conducen a la extinción masiva de especies (Araújo & Rahbek, 2006; Mawdsley et al., 2009; McCarty, 2001).

Por las razones mencionadas anteriormente, el cambio climático plantea un enorme desafío para la conservación de la biodiversidad, por lo que es necesario

adaptar los programas de conservación de la biodiversidad a un contexto de cambio climático (Farooqi et al., 2022; Hampe & Petit, 2005; Heller & Zavaleta, 2009), con soluciones que coincidan con la escala temporal, espacial y funcional de este desafío (Pettorelli et al. 2021).

Salud

El cambio climático es una amenaza indiscutible para la salud humana y los patrones de transmisión de enfermedades (Epstein, 2001), especialmente para las sociedades que presentan altos índices de desigualdad social, incertidumbre política y económica, además de un torrente de desafíos ambientales simultáneos (Robbins Schug et al., 2023). Los fenómenos climáticos extremos, como olas de calor, tormentas, lluvias intensas, inundaciones o sequías, amenazan la salud humana y aumentan la mortalidad y morbilidad donde ocurren (Ebi & Bowen, 2016; McMichael et al., 2006; Salvador et al., 2023).

Por otro lado, las enfermedades infecciosas presentan ciclos estacionales marcados, sin embargo, el aumento de la temperatura global puede incrementar su incidencia y facilitar su expansión geográfica (Haines et al., 2006; Zell, 2004). Bacterias relacionadas con cuadros diarreicos como *Salmonella spp.* y *Vibrio cholerae* proliferan más rápidamente en temperaturas cálidas; además, los ciclos reproductivos y la supervivencia de mosquitos, garrapatas y otros organismos que actúan como vectores para agentes infecciosos como protozoarios, bacterias o virus se favorecen con el aumento de la temperatura (Orimoloye et al., 2019; Patz, 2005; Thornton et al., 2014). La incidencia de enfermedades respiratorias no transmisibles como el asma y alergias puede incrementarse debido a la contaminación del aire y a la presencia de mayores concentraciones de alérgenos como el polen y el moho (Ayres et al., 2009; D'Amato et al., 2014).

La Organización Mundial de la Salud identifica como los principales determinantes de salud afectados por el cambio climático a la calidad del aire, el acceso a agua potable, el abastecimiento de alimentos y las condiciones de la vivienda. Lo anterior tendrá grandes impactos a futuro. Se estima que entre 2030 y 2050 el cambio climático causará alrededor de 250 000 muertes anuales adicionales

por desnutrición, malaria, diarrea o golpes de calor, que representarán un costo adicional al sector salud de 2 a 4 billones de dólares para 2030 (WHO, 2014).

Sistemas de producción agrícola

El sector agrícola es un sector complejo y más vulnerable que se ve afectado por diferentes parámetros climáticos, provocando impactos económicos y sociales (Malhi et al., 2021; Smith, 2007). Los efectos del cambio climático amenazan directamente la seguridad alimentaria de la humanidad y los sistemas globales de producción agrícola (Skendžić et al., 2021). El aumento de la temperatura media de las diferentes estaciones y la alteración del ciclo hidrológico pueden provocar una reducción en la disponibilidad de agua, un aumento de las necesidades de irrigación, una disminución del rendimiento de los cultivos y, en consecuencia de lo anterior, un aumento en el costo de los productos agrícolas. Además, la incidencia de plagas y enfermedades es mayor (Adams et al., 1990; Chen, Chen, & Xu, 2016; Malhi et al., 2021; Porter et al., 2014).

La adaptación es clave para garantizar la seguridad alimentaria global en el contexto del cambio climático. Algunas alternativas para la adaptación de los sistemas de producción agrícola incluyen cambios en las temporadas de cultivo o en las variedades de las plantas de cultivo, significando costos relativamente bajos. Sin embargo, se esperan mayores beneficios con la implementación y desarrollo de nuevas variedades de cultivos o la expansión de los sistemas de irrigación (Lobell et al., 2008). Los impactos y consecuencias del cambio climático continuarán observándose en los próximos años y podrían intensificarse si no se toman medidas de mitigación (Olivo & Soto, 2010).

Consideraciones finales

La variabilidad climática es una amenaza global que ha puesto en crisis la sostenibilidad de diversos sectores. La vulnerabilidad de amplias regiones agrícolas genera un escenario preocupante a nivel mundial, ya que la producción y suministro de alimentos suficientes están amenazados. El riesgo a la integridad y la

supervivencia de muchas especies es una consecuencia del rápido cambio de las estructuras de los ecosistemas. Las fluctuaciones climáticas incrementan el resurgimiento de enfermedades emergentes o reemergentes. Además, la industria turística mundial está devastada a medida que el cambio climático afecta a los lugares turísticos desfavorables (Abbass et al., 2022).

Esta crítica situación y la mayor conciencia pública en los últimos años han llevado a diversos países a tomar medidas para reducir los diversos impactos negativos en diferente medida (Cifuentes-Faura, 2022). Sin embargo, estos esfuerzos son mínimos y ante el desolador panorama es necesaria una participación más amplia y comprometida de todos los estados miembros para alcanzar economías con emisiones netas de carbono (solo el 4.5 % de los países han alcanzado la neutralidad de carbono) (Chen, Msigwa et al., 2022).

No obstante, la tarea no será fácil ante el aumento de la polarización ideológica observada durante la Conferencia de las Partes de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático 2021 (COP26), luego de una baja polarización entre la COP20 y COP25. Dado que la acción climática futura depende de las negociaciones en la COP y más allá, resulta importante despolitizar los acuerdos para alcanzar las metas acordadas y mantener un discurso público homogéneo sobre el clima a nivel global (Falkenberg et al., 2022).

Referencias

- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(28), 42539-42559. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>
- Adams, R. M., Rosenzweig, C., Peart, R. M., Ritchie, J. T., McCarl, B. A., Glycer, J. D., Curry, R. B., Jones, L. W., Boote, K. J., & Allen Jr, L. H. (1990). Global climate change and US agriculture. *Nature*, 345(6272), 219-224. <https://doi.org/10.1038/345219a0>

- Alexander, L. V. (2016). Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. *Weather and Climate Extremes*, *11*, 4-16. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.10.007>
- Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D. B., Burn, J., Aguilar, E., ... Vazquez-Aguirre, J. L. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *111*(D5). <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>
- Almeida, S. K., Souza, R. G. de, Borges, V. T. T., & Silva, C. M. J. R. da. (2020). Influence of El Niño and La Niña on coffee yield in the main coffee-producing regions of Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, *139*, 1019-1029. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-03039-9>
- Araújo, M. B., & Rahbek, C. (2006). How does climate change affect biodiversity? *Science*, *313*(5792), 1396-1397. <https://doi.org/10.1126/science.1131758>
- Ayres, J. G., Forsberg, B., Annesi-Maesano, I., Dey, R., Ebi, K. L., Helms, P. J., Medina-Ramón, M., Windt, M., & Forastiere, F. (2009). Climate change and respiratory disease: European Respiratory Society position statement. *European Respiratory Journal*, *34*(2), 295-302. <https://doi.org/10.1183/09031936.00003409>
- Berhane, A., & Tesfay, T. (2020). *Impact of El Niño and La Niña on Agriculture in Ethiopia: Implications for El Niño and La Niña Adaptation and Food Security in Ethiopia*.
- Berrío, M. J. A., & Echeverri, O. L. A. (2020). *Efectos de la variabilidad climática en la producción de café en el municipio de Betania: Alternativas de adaptación para su manejo* [Tesis de especialidad, Universidad de Antioquia]. <https://hdl.handle.net/10495/21318>
- Bindoff, N. L., Stott, P. A., AchutaRao, K. M., Allen, M. R., Gillett, N., Gutzler, D., Hansingo, K., Hegerl, G., Hu, Y., Jain, S., Mokhov, I. I., Overland, J., Perlwitz, J., Sebbari R., & Zhang, R. (2013). Detection and attribution of

- climate change: from global to regional. En T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P. M. Midgley (Eds.), *Climate Change: The Physical Science Basis* (pp. 867-952). Cambridge University Press.
- Chen, G., Wang, D., Wang, Q., Li, Y., Wang, X., Hang, J., Gao, P., Ou, C. & Wang, K. (2020). Scaled outdoor experimental studies of urban thermal environment in street canyon models with various aspect ratios and thermal storage. *Science of The Total Environment*, 726, 138147. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138147>
- Chen, L., Msigwa, G., Yang, M., Osman, A. I., Fawzy, S., Rooney, D. W., & Yap, P. S. (2022). Strategies to achieve a carbon neutral society: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 20(4), 2277-2310. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01435-8>
- Chen, S., Chen, X., & Xu, J. (2016). Impacts of climate change on agriculture: Evidence from China. *Journal of Environmental Economics and Management*, 76, 105-124. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2015.01.005>
- Cifuentes-Faura, J. (2022). European Union policies and their role in combating climate change over the years. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 15(8), 1333-1340. <https://doi.org/10.1007/s11869-022-01156-5>
- Claudino-Sales, V. (2020). The urgency of the anthropocene. *Northeast Geosciences Journal*, 6(2), 213-221.
- D'Amato, G., Cecchi, L., D'Amato, M., & Annesi-Maesano, I. (2014). Climate change and respiratory diseases. *European Respiratory Review*, 23(132), 161-169. <https://doi.org/10.1183/09059180.00001714>
- Easterling, D. R., Kunkel, K. E., Wehner, M. F., & Sun, L. (2016). Detection and attribution of climate extremes in the observed record. *Weather and Climate Extremes*, 11, 17-27. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2016.01.001>
- Easterling, D. R., Meehl, G. A., Parmesan, C., Changnon, S. A., Karl, T. R., & Mearns, L. O. (2000). Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science*, 289(5487), 2068-2074. <https://doi.org/10.1126/science.289.5487.2068>

- Ebi, K. L., & Bowen, K. (2016). Extreme events as sources of health vulnerability: Drought as an example. *Weather and Climate Extremes*, *11*, 95-102. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.10.001>
- Ebi, K. L., Vanos, J., Baldwin, J. W., Bell, J. E., Hondula, D. M., Errett, N. A., Hayes, K., Reid, C. E., Saha, S., Spector, J., & Berry, P. (2021). Extreme weather and climate change: population health and health system implications. *Annual Review of Public Health*, *42*(1), 293-315. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-012420-105026>
- Epstein, P. R. (2001). Climate change and emerging infectious diseases. *Microbes and infection*, *3*(9), 747-754. [https://doi.org/10.1016/S1286-4579\(01\)01429-0](https://doi.org/10.1016/S1286-4579(01)01429-0)
- Falkenberg, M., Galeazzi, A., Torricelli, M., Di Marco, N., Larosa, F., Sas, M., Mekacher, A., Pearce, W., Zollo, F., Quattrocioni W., & Baronchelli, A. (2022). Growing polarization around climate change on social media. *Nature Climate Change*, *12*(12), 1114-1121. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01527-x>
- Farooqi, T. J. A., Irfan, M., Portela, R., Zhou, X., Shulin, P., & Ali, A. (2022). Global progress in climate change and biodiversity conservation research. *Global Ecology and Conservation*, *38*, e02272. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02272>
- Ge, Q., Liu, H., Ma, X., Zheng, J., & Hao, Z. (2017). Characteristics of temperature change in China over the last 2000 years and spatial patterns of dryness/wetness during cold and warm periods. *Advances in Atmospheric Sciences*, *34*, 941-951. <https://doi.org/10.1007/s00376-017-6238-8>
- Grove, M. (2021). Climatic change and climatic variability: An objective decomposition. *Quaternary Science Reviews*, *271*, 107196. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107196>
- Habibullah, M. S., Din, B. H., Tan, S. H., & Zahid, H. (2022). Impact of climate change on biodiversity loss: global evidence. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(1), 1073-1086. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15702-8>

- Haines, A., Kovats, R. S., Campbell-Lendrum, D., & Corvalán, C. (2006). Climate change and human health: impacts, vulnerability and public health. *Public Health, 120*(7), 585-596. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2006.01.002>
- Hampe, A., & Petit, R. J. (2005). Conserving biodiversity under climate change: the rear edge matters. *Ecology letters, 8*(5), 461-467. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00739.x>
- Hartmann, D. L., Klein Tank, A. M. G., Rusticucci, M., Alexander, L. V., Brönnimann, S., Charabi, Y., Dentener, F. J., Dlugokencky, E. J., Easterling, D.R., Kaplan, A., Soden, B. J., Thorne, P. W., Wild, M., & Zhai, P. (2013). Observations: Atmosphere and surface. En T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P. M. Midgley (Eds.), *Climate Change 2013 the Physical Science Basis* (pp. 159-254). Cambridge University Press.
- Hegerl, G. C., Brönnimann, S., Cowan, T., Friedman, A. R., Hawkins, E., Iles, C., Müller, W., Schurer, A., & Undorf, S. (2019). Causes of climate change over the historical record. *Environmental Research Letters, 14*(12), 123006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4557>
- Heller, N. E., & Zavaleta, E. S. (2009). Biodiversity management in the face of climate change: a review of 22 years of recommendations. *Biological Conservation, 142*(1), 14-32. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.10.006>
- Herring, S. C., Hoerling, M. P., Peterson, T. C., & Stott, P. A. (Eds.). (2014). Explaining extreme events of 2013 from a climate perspective. *Bulletin of the American Meteorological Society, 95*(9), Si-S97.
- Heshmati, E. M. (2021). Impact of climate change on life. *Environmental issues and sustainable development, 1*-20.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. R. K. Pachauri, & A. Reisinger (Eds.). IPCC.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014a). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al quinto*

- informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. R. K. Pachauri y L. A. Meyer (Eds.). IPCC.
- Kišš, V., Pagáč, J., Tárnik, A., & Čimo, J. (2022). Changes in Vegetation Period Length in Slovakia under the Conditions of Climate Change for 1931–2110. *Sustainability*, *14*(19), 12220. <https://doi.org/10.3390/su141912220>
- Lobell, D. B., Burke, M. B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M. D., Falcon, W. P., & Naylor, R. L. (2008). Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, *319*(5863), 607-610. <https://doi.org/10.1126/science.1152339>
- Malhi, G. S., Kaur, M., & Kaushik, P. (2021). Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. *Sustainability*, *13*(3), 1318. <https://doi.org/10.3390/su13031318>
- Mawdsley, J. R., O'Malley, R., & Ojima, D. S. (2009). A review of climate-change adaptation strategies for wildlife management and biodiversity conservation. *Conservation Biology*, *23*(5), 1080-1089. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01264.x>
- McCarty, J. P. (2001). Ecological consequences of recent climate change. *Conservation Biology*, *15*(2), 320-331. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.015002320.x>
- McMichael, A. J., Woodruff, R. E., & Hales, S. (2006). Climate change and human health: present and future risks. *The Lancet*, *367*(9513), 859-869. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)68079-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)68079-3)
- Melo, F. J., Ruíz, J., Pabón, J., Sánchez, I., & Guzmán, D. (2018). *La variabilidad climática y el cambio climático en Colombia*. IDEAM-UNAL. <https://www.andi.com.co/Uploads/variabilidad.pdf>
- Montealegre, B. J. E. (2009). *Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala* (Informe final Núm. IDEAM022-2009). Instituto de Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales, IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Estudio+de+la+variabilidad+clim%C3%A1tica+de+la.pdf/643c4c0e-83d7-414f-b2b4-6953f64078d3>

- Montoya-Moreno, Y., Patiño Zapata, E. Y., Ramírez Arango, E., & Yepes Osorio, E. R. (2019). Calidad biológica y fisicoquímica de tres fuentes de agua y su relación con el fenómeno de El Niño y La Niña. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1328>
- Olivo, M. D. L., & Soto-Olivo, A. (2010). Comportamiento de los gases de efecto invernadero y las temperaturas atmosféricas con sus escenarios de incremento potencial. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 14(57), 221-230.
- Orimoloye, I. R., Mazinyo, S. P., Kalumba, A. M., Ekundayo, O. Y., & Nel, W. (2019). Implications of climate variability and change on urban and human health: A review. *Cities*, 91, 213-223. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2019.01.009>
- Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., & Foley, J. A. (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438(7066), 310-317. <https://doi.org/10.1038/nature04188>
- Pettorelli, N., Graham, N. A., Seddon, N., Maria da Cunha Bustamante, M., Lowton, M. J., Sutherland, W. J., Koldewey, H. J., Prentice, H. C., & Barlow, J. (2021). Time to integrate global climate change and biodiversity science-policy agendas. *Journal of Applied Ecology*, 58(11), 2384-2393. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13985>
- Porter, J. R., Xie, L., Challinor, A. J., Cochrane, K., Howden, S. M., Iqbal, M. M., Lobel, D. B., & Travasso, M. I. (2014). Food security and food production systems. En C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, & L. L. White (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects* (pp. 485-533). Cambridge University Press.
- Poveda, G., Moreno, H. A., Vieira, S. C., Agudelo, P., Arias, P. A., Salazar, L. F., Mesa, O. J., Alvarez, F., Toro, V., Jaramillo, A., & Guzmán, O. (2001). Caracterización del ciclo diurno de la precipitación en los Andes tropicales

- de Colombia. En *Proceedings of the Memorias IX Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología, Buenos Aires*.
- Riveros-Zarate, Z. C., Yustres-Quintero, L. F., & Ivanova, Y. (2020). Efecto del fenómeno de la Oscilación Cuasi-Bienal en los afluentes del embalse de Betania. *Revista EIA*, 17(34), 32-40. <https://doi.org/10.24050/reia.v17i34.1246>
- Riza, M. H., & Minani, N. (2021). The Effect of El Nino and La Nina on the Intensity of Determining Qibla Direction. *Al-Hilal: Journal of Islamic Astronomy*, 3(1), 55-74. <https://doi.org/10.21580/al-hilal.2021.3.1.7663>
- Robbins Schug, G., Buikstra, J. E., DeWitte, S. N., Baker, B. J., Berger, E., Buzon, M. R., Davies-Barrett, A. M., Goldstein, L., Grauer, A. L., Gregoricka, L. A., Halcrow, S. E., Knudson, K. J., Larsen, C. S., Martin, D. L., Nystrom, K. C., Perry, M. A., Roberts, C. A., Santos, A. L., Stojanowski, C. M., Suby, J. A., Temple, D. H., Tung, T. A., Vlok, M., Watson-Glen, T., & Zakrzewski, S. R. (2023). Climate change, human health, and resilience in the Holocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(4), e2209472120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2209472120>
- Sala, O. E., Chapin, F. S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L. F., Jackson, R. B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D. M., Mooney, H. A., Oesterheld, M., Poff, N. L., Sykes, M. T., Walker, B. H., Walker, M., & Wall, D. H. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287(5459), 1770-1774. <https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>
- Salinger, M. J. (2005). Climate variability and change: past, present and future—an overview. *Climatic Change*, 70(1-2), 9-29. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-5936-x>
- Salvador, C., Nieto, R., Vicente-Serrano, S. M., García-Herrera, R., Gimeno, L., & Vicedo-Cabrera, A. M. (2023). *Public health implications of Drought in a Climate change context: A Critical Review. Annual Review of Public Health*, 44, 213-232. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-071421-051636>

- Sánchez, J. M., Rodríguez, J. P., & Montenegro, C. E. (2020). La relevancia de la variabilidad climática en la formulación de políticas públicas agrarias en los países tropicales. *Revista Espacios*, 41(08), 11.
- Sánchez-Cohen, I., Díaz-Padilla, G., Ojeda-Bustamante, W., Chehbouni, A., Orona Castillo, I., Villanueva Díaz, J., González-Barrios J. L., & González Cervantes, G. (2008). Variabilidad climática en México: algunos impactos hidrológicos, sociales y económicos. *Ingeniería hidráulica en México*, 23(4), 5-24.
- Scotese, C. R. (2015). *Some Thoughts on Global Climate Change: The Transition from Icehouse to Hothouse* [Manuscrito inédito]. PALEOMAP Project. https://www.academia.edu/12082909/Some_thoughts_on_Global_Climate_Change_The_Transition_from_Icehouse_to_Hothouse
- Scott, D. (2021). Sustainable tourism and the grand challenge of climate change. *Sustainability*, 13(4), 1966. <https://doi.org/10.3390/su13041966>
- Scott, M., & Lindsey, R. (2020). *What's the hottest Earth's ever been?* Climate.gov. <https://www.climate.gov/news-features/climate-qa/whats-hottest-earths-ever-been>
- Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I. P., Lešić, V., & Lemić, D. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, 12(5), 440. <https://doi.org/10.3390/insects12050440>
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., & Sirotenko, O. (2007). Agriculture. En B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, & L. A. Meyer (Eds.), *Climate Change 2007: Mitigation* (pp. 497-540). Cambridge University Press.
- Stott, P. (2016). How climate change affects extreme weather events. *Science*, 352(6293), 1517-1518. <https://doi.org/10.1126/science.aaf7271>
- Su, B., Xiao, C., Chen, D., Huang, Y., Che, Y., Zhao, H., Zou, M., Guo, R., Wang, X., Li, X., Guo, W., Liu, S., & Yao, T. (2022). Glacier change in China over past decades: Spatiotemporal patterns and influencing factors. *Earth-Science Reviews*, 226, 103926. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103926>

- Tedesco, P. (2018). *Anomalías de circulación atmosférica asociadas a la influencia de la Oscilación de Madden Julian en la pluviometría local* [Trabajo especial de la Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera]. Universidad de la República. http://www.meteorologia.edu.uy/wp-content/uploads/2020/Tesis/TF_PaulinaTedesco.pdf
- Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., Erasmus, B. F. N., Siqueira, M. F. de, Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., Jaarsveld, A. S. van, Midgley, G. F., Miles, L., Ortega-Huerta, M. A., Peterson, A. T., Phillips O. L., & Williams, S. E. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, *427*(6970), 145-148. <https://doi.org/10.1038/nature02121>
- Thornton, P. K., Ericksen, P. J., Herrero, M., & Challinor, A. J. (2014). Climate variability and vulnerability to climate change: a review. *Global change biology*, *20*(11), 3313-3328. <https://doi.org/10.1111/gcb.12581>
- Torres-Pineda, C. E., & Pabón-Caicedo, J. D. (2017). Variabilidad intraestacional de la precipitación en Colombia y su relación con la oscilación de Madden-Julian. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, *41*(158), 79-93. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.380>
- Weiskopf, S. R., Rubenstein, M. A., Crozier, L. G., Gaichas, S., Griffis, R., Halofsky, J. E., Hyde, K. J. W., Morelli, T. L., Morissette, J. T., Muñoz, R. C., Pershing, A. J., Peterson, D. L., Poudel, R., Staudinger, M. D., Sutton-Grier, A. E., Thompson, L., Vose, J., Weltzin, J. F., & Whyte, K. P. (2020). Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. *Science of the Total Environment*, *733*, 137782. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137782>
- World Health Organization. (2014). *Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s*. WHO.
- Zell, R. (2004). Global climate change and the emergence/re-emergence of infectious diseases. *International Journal of Medical Microbiology Supplements*, *293*(supl. 37), 16-26. [https://doi.org/10.1016/S1433-1128\(04\)80005-6](https://doi.org/10.1016/S1433-1128(04)80005-6)

- Zhang, C. (2013). Madden–Julian oscillation: Bridging weather and climate. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(12), 1849–1870. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00026.1>
- Zhang, C., Adames, Á. F., Khouider, B., Wang, B., & Yang, D. (2020a). Four theories of the Madden-Julian oscillation. *Reviews of Geophysics*, 58(3), e2019RG000685. <https://doi.org/10.1029/2019RG000685>
- Zhang, Q., Chen, Y., Li, Z., Fang, G., Xiang, Y., Li, Y., & Ji, H. (2020b). Recent changes in water discharge in snow and glacier melt-dominated rivers in the Tianshan Mountains, central Asia. *Remote Sensing*, 12(17), 2704. <https://doi.org/10.3390/rs12172704>

La salud pública en un contexto de cambio climático

Patricia Mussali Galante
Efraín Tovar Sánchez
Ma. Laura Ortiz Hernández
Enrique Sánchez Salinas

Principales problemas de salud relacionados al cambio climático

La influencia del clima sobre la salud humana fue reconocida por Hipócrates desde el siglo IV o V a. C. Actualmente, hay un renovado interés en este tema debido a la preocupación de los efectos negativos particularmente del calentamiento global (CG) sobre la salud humana (Woodward et al., 2014). La evidencia científica indica que el cambio climático global (CCG) ya ha afectado la salud humana. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el cambio climático causa aproximadamente 150 000 muertes anuales y se estima que entre 2030 y 2050 cause 250 000 muertes adicionales al año por enfermedades relacionadas con el CCG (Rodríguez et al., 2019; World Health Organization [WHO], 2021). En este sentido, varios estudios han tratado de relacionar el incremento de la temperatura debido al calentamiento global (CG) con la aparición o incremento de enfermedades relacionadas con cambios climáticos. Particularmente, hay avances significativos en el diseño y aplicación de metodologías para identificar el tipo y tasas de mortalidad y morbilidad relacionadas con variabilidad climática y para predecir los efectos en la salud bajo distintas condiciones de CCG (Harlan & Ruddell, 2011; Patz et al., 2005).

El incremento en la temperatura de la atmósfera y de los océanos, puede tener consecuencias sobre la salud humana de distintas formas. Directamente, puede generar olas de calor más intensas resultando en una mayor mortalidad debido a golpes de calor. “Indirectamente, el CG también puede amenazar

la salud humana al cambiar los patrones climáticos, particularmente al incrementar la intensidad y frecuencia de inundaciones y sequías” (Easterling et al., 2000). Como resultado de CG, los ciclos hidrológicos se han acelerado, los océanos han aumentado su temperatura (Levitus et al., 2000), las capas de hielo se han derretido (Rothrock et al., 1999) y los niveles de vapor de agua han aumentado (Albritton et al., 2001). Asimismo, las altas temperaturas y las sequías son más prolongadas y se han registrado mayores niveles de precipitación. Lo anterior ha causado muertes por ahogamiento o inanición. En cuanto a las enfermedades infecciosas, puede causar el surgimiento, resurgimiento y diseminación de estas (Ebi, 2014; Epstein, 2001; Rodó et al., 2021).

Enfermedades de origen infeccioso

Las tasas de incidencia y mortalidad de algunas enfermedades infecciosas ya conocidas pueden estar influenciadas por diversos factores. Por ejemplo; los cambios ecológicos asociados al uso de suelo (de agrícola a industrial), la búsqueda de nuevas fuentes de alimento tanto vegetales como animales, los nuevos modelos y patrones de la urbanización como los movimientos de población del medio rural a las grandes ciudades y viceversa. Lo anterior en combinación con el cambio climático favorece la expansión y aparición de vectores y crean las condiciones idóneas para la emergencia de nuevas enfermedades. Las condiciones climáticas responden en parte a la transmisión de distintos agentes infecciosos, particularmente para aquellos agentes que se caracterizan poseer una etapa de su ciclo de vida o bien, la mayor parte de él fuera del humano. Igualmente, los insectos transmisores de agentes patógenos que pueden infectar al humano también responden a fluctuaciones en las condiciones climáticas. Ya se ha demostrado que alteraciones en los patrones de precipitación y de temperatura influyen en el comportamiento de estos vectores y por consiguiente, la aparición de las enfermedades originadas por estos se ve modificada, por lo que la relación entre el CG (aumento de temperatura) y el aumento en la incidencia de estas enfermedades ya ha sido reportado (Kovats et al., 2005). En suma, “las variables climáticas que pueden afectar la transmisión

de las enfermedades por vectores son: humedad, temperatura, precipitación, aumento en el nivel del mar y humedad del suelo (Haines et al., 2006)” (Mussil Galante, 2021).

Por lo anterior, al cambiar las variables climáticas, el patrón de distribución de las enfermedades también cambia. Por ejemplo, enfermedades que únicamente se presentaban en una zona que ya no pudieran sostener la transmisión y enfermedades no reportadas con anterioridad en cierta región, aparecen por primera vez. Lo anterior como resultado de los cambios climáticos que modifican la distribución geográfica y el hábitat de los vectores infecciosos. Lo anterior resulta en signos y síntomas más graves de la patología, dado que la población nunca había estado expuesta a esta enfermedad, por lo que no tiene inmunidad adquirida o bien, no ha sido inmunizada contra enfermedades infecciosas que no se presentaban con anterioridad (Haines et al., 2006).

Algunas de las enfermedades más comúnmente relacionadas con el CG y por lo tanto con el CCG, son: malaria, virus del Nilo y dengue.

Malaria

La malaria es una enfermedad transmitida por mosquitos del género *Anopheles* que han sido infectados por parásitos del género *Plasmodium*. De las especies de parásitos relacionados con la malaria, existen cinco de ellos que infectan al humano, pero la mayor amenaza a la salud humana está dada por las especies *Plasmodium vivax* y *P. falciparum*. La malaria es una enfermedad que reduce la calidad de vida, especialmente en mujeres y niños de bajos recursos económicos que habitan en zonas rurales, por lo que esta enfermedad es recurrente en los países en vías de desarrollo (WHO, 2012).

De acuerdo con el reporte mundial de malaria (WHO, 2011), esta enfermedad prevalece en 106 países de climas tropicales y semitropicales. Los países con la mayor incidencia de casos se encuentran en África-Central, en donde se estima que existen más del 80 % de los casos y más del 90 % de la mortalidad por esta enfermedad. Las altas tasas de incidencia y mortalidad pueden ser explicadas por varios factores como: presencia de las especies de parásitos

más mortíferas en la zona, la presencia de las especies de vectores (mosquitos) más eficientes en cuanto a la transmisión de la enfermedad, condiciones de higiene y salubridad precarias, así como un inadecuado acceso a los servicios de salud (WHO, 2011, 2012).

La relación entre la malaria y el CCG está dada por variables climáticas como: precipitación, humedad y temperatura, las cuales son fundamentales para entender la distribución del vector y la dinámica de los parásitos. Existen varios estudios que han reportado que, al incrementar el porcentaje de humedad en el ambiente, aumenta la sobrevivencia del vector, así como, un aumento en la precipitación favorece el establecimiento de sitios propicios para la reproducción del mismo. (Gething et al., 2010). Además, la temperatura afecta la tasa de desarrollo del parásito (WHO, 2012). En este contexto, es importante mencionar que la mayoría de los estudios donde analizan la relación entre la incidencia de malaria (ciclo de vida del vector) y cambios en la temperatura ambiental, en su mayoría son estudios de laboratorio bajo condiciones constantes de temperatura, los cuales utilizan el promedio mensual de la temperatura registrada para caracterizar las condiciones ambientales (Craig et al., 1999; Guerra et al., 2008; Hay et al., 2002; Pascual et al., 2006; Rogers & Randolph, 2000) y en ocasiones no reflejan las fluctuaciones de temperatura diaria que pueden llegar a ser muy importantes —por ejemplo, en un día la temperatura puede cambiar desde los 5 °C hasta los 20 °C en zonas con alta prevalencia de malaria— (Paaijmans et al., 2010). Específicamente, Paaijmans et al. (2009), propusieron que las fluctuaciones de temperatura diaria pueden alterar substancialmente el periodo de incubación de estos parásitos en el mosquito y, por lo tanto, influenciar las tasas de transmisión de la enfermedad, específicamente en referencia *Plasmodium falciparum*.

Por lo anterior, los programas de control del vector y de mitigación de los efectos de la malaria, deben incluir, modelos predictivos donde se tomen en cuenta las fluctuaciones diarias de temperatura y como esta variación es influenciada por el CCG (Paaijmans et al., 2010).

Uno de los fenómenos climatológicos que se han asociado con una mayor incidencia de malaria, es conocido como “El Niño Oscilación-Sur” (WHO, 1998).

Este es un patrón climático periódico que implica cambios en la temperatura de las aguas en la parte central y oriental del Pacífico tropical. Los períodos van de tres a siete años. Durante este, las aguas superficiales de una gran franja del océano Pacífico tropical se calientan o enfrían de 1 °C a 3 °C con respecto a la temperatura promedio. Este calentamiento oscilante y el patrón de enfriamiento, es conocido como el ciclo ENOS. Este fenómeno afecta directamente la distribución de las precipitaciones en las zonas tropicales y puede tener una fuerte influencia sobre el clima en otras partes del mundo (An et al., 2008; Wittenberg, 2009). En zonas desérticas y costeras, el calentamiento o precipitación asociados con El Niño, pueden incrementar la transmisión de la malaria. En países en vías de desarrollo donde la malaria no está del todo controlada, las poblaciones no presentan inmunoprotección y son más susceptibles a padecer la enfermedad durante eventos epidémicos cuando las condiciones climáticas facilitan la transmisión. Particularmente, en estas zonas se han registrado eventos de sequías severas o precipitación abundante durante eventos de El Niño. Los eventos de sequía en el año anterior a este fenómeno climático han sido identificados como un factor que contribuye de manera importante al incremento de la mortalidad por malaria. Lo anterior pudiera deberse a que hay mayor desnutrición durante los periodos de sequía, lo que puede incrementar la susceptibilidad del individuo a contraer la infección (Hales et al., 2003). También, durante la sequía, se pudiera reducir la transmisión de malaria, lo que resultaría en una disminución de la inmunidad colectiva de la población; por lo que, en el año siguiente a la sequía, la cantidad de individuos que son más vulnerables a la infección incrementa sustancialmente (Bouma & Dye, 1997; Hales et al., 2003).

En este contexto, en muchas partes de América del Sur se han registrado anomalías climáticas relacionadas con el fenómeno de El Niño. Epidemias de malaria de gran escala se han registrado en los países más norteños de América del Sur, al año siguiente de El Niño. En 1983, después de este fenómeno, se registraron epidemias de malaria en Ecuador, Perú y Bolivia (Moreira Cedeño, 1986; Nicholls, 1993; Russac, 1986). Eventos similares se reportaron en Venezuela y Colombia en el año posterior a este fenómeno climático (Bouma & Dye, 1997; Poveda et al., 2001). Más aún, una relación estadísticamente significativa se

registró entre El Niño y la epidemia de malaria ocurrida en Colombia, Guyana, Perú y Venezuela (Gagnon et al., 2002). Todo lo anterior es importante ya que con esta información se pudiera predecir los años con mayor y menor incidencia de malaria en estas regiones del mundo, lo cual podría ayudar a mitigar los efectos de las epidemias y a tomar medidas preventivas.

Virus del Nilo

El virus del Nilo es un retrovirus de la familia *Flaviviridae*, la cual incluye varios patógenos de importancia médica como el dengue, los virus de la fiebre amarilla y la encefalitis japonesa (Kilpatrick, 2011). El virus del Nilo es transmitido de mosquitos a aves y otros animales y ocasionalmente al humano. El mosquito transmisor de este virus tiene preferencias por hábitats urbanos, ya que típicamente se reproduce en las tuberías del sistema de desagüe de las ciudades, charcos y sumideros. Los mosquitos que transmiten este virus pertenecen al género *Culex*, específicamente *Culex pipiens* (Epstein, 2001).

Durante la época seca o bien, durante sequías prolongadas, estas fuentes de agua se evaporan dejando materia orgánica en descomposición, que es el recurso necesario para que los mosquitos se desarrollen. Además, la sequía reduce el número de depredadores del mosquito como las ranas y las libélulas, resultando en un crecimiento de la población del mosquito. Durante sequías prolongadas, se favorece la agrupación de aves alrededor de fuentes de agua permanentes, lo que hace más fácil la transmisión del virus hacia estas. Asimismo, las altas temperaturas pueden acelerar el desarrollo del virus en el vector, lo que hace que pueda alcanzar su madurez mientras el mosquito sigue vivo y aun es capaz de morder. En conjunto, todos los factores antes mencionados posibilitan que el virus incremente sus niveles en las aves y mosquitos que viven cerca del humano, creando un ambiente propicio para la propagación de la enfermedad. En cambio, a mayor precipitación se diluiría la materia orgánica en descomposición, debido al lavado de estas fuentes de agua y la población de mosquitos disminuiría, lo que dificultaría el desarrollo del virus en el vector (Epstein, 2001; Nash et al., 2001).

En 1999 se introduce este virus en Norteamérica donde se dispersó rápidamente con consecuencias importantes para la salud pública de esta región. El virus alcanzó la costa oeste de los Estados Unidos de Norteamérica cuatro años más tarde, con epidemias en los años 2002 y 2003. Como consecuencia, en el periodo comprendido de 1999-2010, aproximadamente 1.8 millones de personas resultaron infectadas (Kilpatrick, 2011). La introducción del virus a Norteamérica ha sido explicada con base en condiciones climáticas. Este fenómeno ocurrió después de un intenso periodo de sequía en los años más calientes de esta región, lo cual llevo a la suposición de que el aumento en la temperatura provocado por el CCG ayudó a la dispersión del virus (Soverow et al., 2009). Por lo anterior, las condiciones de propagación de este virus pueden ser relacionadas con el CCG. Actualmente, la evidencia científica apunta a que las condiciones que favorecen la aparición de la enfermedad son inviernos menos fríos en combinación con periodos prolongados de sequías y olas de calor, condiciones que han sido relacionadas con el CCG (Petersen & Roehrig, 2001). Lo anterior es significativo ya que entender como el clima afecta al virus y a sus hospederos es de suma importancia para proponer programas de prevención y mitigación.

Dengue

Dengue es una enfermedad viral transmitida por vectores, específicamente por mosquitos del género *Aedes*. Esta patología es la que más rápido se ha transmitido en comparación con otras enfermedades transmitidas por vectores. Se estima que ha causado más de cincuenta millones de casos y aproximadamente 15 000 muertes anuales en más de cien países (Van Kleef et al., 2010; WHO, 2012). *Aedes aegypti*, el vector causante de la transmisión del dengue, está íntimamente relacionado con el hábitat humano ya que tiene preferencia por hábitats urbanos para alimentarse y desarrollarse. Las hembras adultas se alimentan a través de la picadura de humanos y su periodo de mayor actividad es diurno (Jansen & Beebe, 2010). Las hembras generalmente ponen sus huevecillos en tanques y contenedores de agua, o bien, estructuras viejas que puedan almacenar agua, por ejemplo: las llantas abandonadas y los cacharros que generalmente se

encuentran dentro o alrededor de los hogares. Una vez que los huevecillos eclosionan, pueden resistir la pérdida de agua hasta por un año, lo que los hace altamente resistentes a las condiciones del medio (Jansen & Beebe, 2010; Rusell et al., 2001). Con respecto al cambio climático, los factores más influyentes en la dispersión y transmisión de la enfermedad serán: la alta densidad poblacional acompañada de un crecimiento poblacional muy rápido, particularmente en áreas urbanas de los trópicos; un incremento en el movimiento tanto de los vectores como del virus en respuesta a la conectividad territorial por el transporte moderno, y una falta de manejo adecuado del mosquito (Ballenger-Browning & Elder, 2009; Morrison et al., 2008).

Los factores climáticos, en combinación con componentes socioeconómicos ejercen una gran influencia en la transmisión del dengue. Un ejemplo de ello es que la enfermedad prevalece en lugares con climas tropicales y subtropicales, donde la combinación de sitios abundantes para la reproducción del vector y la alta densidad poblacional humana, favorecen altas tasas de transmisión de la enfermedad. Por ejemplo, la precipitación abundante puede causar cuerpos de agua estancados, mientras que, a menor precipitación, la gente tiende a guardar reservas de agua alrededor del hogar, ambas situaciones crean sitios propicios para la reproducción del vector. Además, temperaturas cálidas incrementan el desarrollo tanto del vector como del virus, lo que hace que la transmisión se vea favorecida. Aunque es bien conocido que el vector transmisor del virus del dengue es tropical, estudios de laboratorio demuestran que las larvas del vector mueren cuando la temperatura del agua sobrepasa los 34 °C, mientras que los adultos comienzan a morir cuando la temperatura del aire excede los 40 °C (Beebe et al., 2009).

En los últimos veinticinco años, ha aumentado en todo el mundo tanto la distribución de *A. aegypti* como las epidemias de dengue causadas por este virus. Sin embargo, no es posible únicamente explicar la distribución geográfica del vector debido a factores climáticos. Dada la alta asociación del vector con ambientes domésticos, los cuales han sido modificados para ser más estables en cuanto a condiciones de temperatura, ha dado a este vector la posibilidad de resistir cambios transitorios de temperatura (Jansen & Beebe, 2010).

Desafortunadamente, no existe vacuna o tratamiento farmacológico contra el dengue. Los programas de control están enfocados sobre todo en el control ambiental y químico del vector.

Enfermedades emergentes y cambio climático: el caso del virus del Zika y del Chikungunya

Tanto el virus del Chikungunya como el del Zika, son ejemplos de otros virus que también son transmitidos por vectores del género *Aedes*. Como se ha mencionado anteriormente, las enfermedades infecciosas transmitidas por insectos del género *Aedes* (dengue, Chikungunya y Zika) se consideran un problema global de salud pública, debido al alto porcentaje de la población que afectan en poco tiempo en las zonas geográficas donde emergen estos mosquitos (Amela Herras & Sierra Moros, 2016). Un caso interesante es el del mosquito *Aedes albopictus*, vector transmisor de virus como el de la fiebre amarilla, el del Nilo occidental, el Chikungunya y el Zika (Weaver & Reisen, 2010), el cual, en los últimos 40 años, con el aumento en las prácticas de comercio internacional, ha ampliado su rango de distribución hasta colonizar nuevos lugares. A comienzos del siglo xx, este mosquito únicamente había sido identificado en Asia y en algunas islas del Índico y del Pacífico. En la década de 1980 comenzó a extenderse. En Europa se identificó por primera vez en Albania en 1979, en 1985 llegó a los Estados Unidos y en 1986 a Brasil. Actualmente es considerado como el mosquito más invasivo en el mundo (Weaver & Lecuit, 2015).

El virus del Zika es una arbovirus que se encuentra en África y en la región Asia-Pacífico. Actualmente, los casos reportados por el virus del Zika han sido registrados en Brasil y ya es considerado como una epidemia, con una incidencia de entre 440 000 y 1 300 000 casos. Lo anterior, puede ser explicado por las condiciones climáticas de la zona en conjunto con la amplia presencia del vector en la región. Asimismo, los hallazgos de casos de microcefalia y trastornos neurológicos reportados en zonas afectadas por este virus han llevado a la declaración por parte de la OMS como una emergencia de salud pública internacional (WHO, 2016).

Otro aspecto importante que se debe considerar es que la enfermedad ha evolucionado: de la presentación endémica de poca gravedad en África y Asia a los grandes brotes y epidemias en América, con signos y síntomas más frecuentes en la población y con la aparición de manifestaciones neurológicas (WHO, 2016). Lo antes mencionado podría explicarse debido a que estos virus, al llegar a nuevos territorios y colonizar nuevos hábitats, son capaces de desarrollar mutaciones adaptativas para garantizar su supervivencia. En general, las condiciones climáticas relacionadas con el incremento en la incidencia de la enfermedad del Zika son las mismas mencionadas anteriormente para el dengue ya que el vector es el mismo.

Aunque actualmente la relación entre el virus del Zika con el CCG está bajo análisis, lo que se ha podido establecer es que la temperatura juega un papel importante en la sobrevivencia del vector, en la replicación viral y en los periodos infectivos (Bogoch et al. 2016). Al aumentar la temperatura, el rango geográfico de actividad del vector aumenta, disminuyendo el periodo de incubación del patógeno, además de incrementar la tasa de mordeduras del mosquito hembras (Pan American Health Organization-WHO, 2015). También, algunos autores han relacionado el fenómeno de El Niño con la rápida expansión de este virus en Brasil. Lo anterior, dado que en 2015 el fenómeno de El Niño causó condiciones climáticas muy particulares durante las estaciones de invierno y primavera al noreste de Sudamérica. De acuerdo con el reporte emitido por el Departamento de Administración Nacional para el Océano y la Atmósfera de los Estados Unidos de Norteamérica (2016), las temperaturas registradas en ese periodo fueron las más cálidas, las cuales estuvieron acompañadas de una severa sequía en el segundo semestre del 2015. Estas condiciones extremas se cree que son un reflejo del CCG que pudieron contribuir de forma importante a la rápida transmisión del virus del Zika. Por lo anterior, las condiciones climáticas antes descritas, causadas por el fenómeno de El Niño, deben ser consideradas como un factor de importante influencia en la dispersión de la enfermedad en América del Sur —la cual continúa extendiéndose— con la finalidad de proponer programas de control para el vector (Bogoch et al., 2016). Actualmente no se cuenta con una vacuna o terapia específica contra este virus.

Con respecto al virus del Chikungunya, este es un alfavirus presente en el continente europeo. Algunos casos de esta enfermedad han sido detectados en África cuando se realizan las pruebas correctas para la detección del virus. Generalmente se confunde el cuadro clínico con la enfermedad del dengue o malaria. Además de que este virus también prevalece en zonas de alto endemismo del dengue y malaria (Weaver & Reisen, 2010). Es por esto que este virus se ha maldiagnosticado y no se la ha dado la importancia requerida, además de que no representa una amenaza contra la vida humana. Este virus se reconoce desde 1950 en India y el Sureste de Asia. En 1973, se pensó que este patógeno había desaparecido (Lanciotti et al., 2007). Sin embargo, el virus ya es endémico en el Sureste de Asia. En el último quinquenio, los casos de Chikungunya han aumentado dramáticamente y actualmente es reconocido como un arbovirus peligroso y de gran importancia médica debido a dos epidemias recientes en Kenya (2004-2005) alcanzando 300 000 casos. Después, en 2006, una cepa fue introducida del Este de África a la India donde la epidemia continua, calculando un aproximado de uno a seis millones de casos (Lanciotti et al., 2007).

La primera vez que se registraron nuevos casos de este virus en una región templada (Italia) fue en el 2007. Aunque el virus no se ha detectado en Italia desde entonces, hay estimaciones que indican que el CG puede extender su potencial de transmisión hacia latitudes más norteñas donde el vector *A. albopictus* está bien establecido (Rezza et al., 2007; Weaver & Reisen, 2010). Asimismo, uno de los grandes riesgos es el establecimiento del dengue en los trópicos, donde su anclaje indicaría que el virus del Chikungunya también puede convertirse en endémico y causar millones de casos anualmente (Weaver & Reisen, 2010).

Enfermedades de origen no infeccioso

De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), como resultado del CG, se ha reportado cambios en las tasas de mortalidad que han sido relacionados con cambios en los valores promedio de la temperatura media anual. En particular, se ha observado un incremento en la mortalidad relacionada con el aumento de la temperatura y un

decremento en la mortalidad relacionada con las bajas temperaturas en algunas regiones de mundo (Semenza, 2014). Los efectos por las altas temperaturas que provocan calor extremo, se pronostica que se agravarán debido al CG, ya que se espera que haya temperaturas promedio más altas, incremento en la variación de la temperatura en el verano y eventos meteorológicos y climáticos más extremos (Bobb et al., 2014).

La relación etiológica directa entre la mortalidad en días calurosos y la exposición al calor ha sido difícil de establecer, por lo que las muertes atribuibles a causas relacionadas con altas temperaturas generalmente han sido subestimadas. Mas aún, cuando el individuo se expone al calor extremo, algunas enfermedades preexistentes pueden empeorar, por esto, durante las olas de calor, la tasa de mortalidad por otras enfermedades puede incrementar. En especial, las muertes por enfermedades del tipo respiratorio y cardiovascular son las causas más comúnmente reportadas durante las olas de calor (Hajat & Kosatky, 2010).

Los mecanismos fisiológicos involucrados en la mortalidad debido a la exposición a temperaturas extremadamente altas o bajas están bien establecidos. Respecto a las bajas temperaturas se debe a la aparición de infecciones respiratorias durante la época invernal. Por el contrario, la mortalidad relacionada con las altas temperaturas se debe principalmente a la aparición del golpe de calor (Kilbourne, 1992). El golpe de calor se manifiesta cuando la temperatura corporal rebasa los 40 °C, superando los mecanismos de regulación de temperatura del organismo y presentando alteraciones en el sistema nervioso central donde predomina la encefalopatía y el coma. Si se toman medidas al inicio de este trastorno, pueden disminuir los síntomas y evitar la muerte, sin embargo, la mortalidad puede aumentar (hasta el 70 %) en caso de que el diagnóstico no sea oportuno (Piñeiro Sande et al., 2004). Otras alteraciones relacionadas con las altas temperaturas se dan en el sistema hematopoyético, como: incremento en la viscosidad de la sangre, eventos vasculares patológicos como infartos al miocardio, embolias o derrames cerebrales (Hales et al., 2003; Keatinge et al., 1986). Evidencia científica ha demostrado que los adultos mayores son más sensibles a los cambios de temperatura debido a la dificultad en la regulación de esta (Hales et al., 2003; Woodhouse, 1993). Los factores mejor conocidos en cuanto a su relación con el

aumento del riesgo de muerte por exposición a cambios en la temperatura son: edad y estado general de salud, estatus socioeconómico, condiciones del hogar, presencia o no de aire acondicionado, entre otros (Hales et al., 2003).

Existen diversas ciudades que registran altas temperaturas, en donde vive gran parte de la población mundial, por lo que han sido un buen modelo para estudiar las “muertes por calor”. Los hallazgos explican los límites fisiológicos humanos de tolerancia a las condiciones climáticas que se pueden volver más extremas en este siglo, debido al CG y al CCG (Grimmond, 2007), lo anterior debido a que, en promedio, la temperatura del aire en muchas ciudades es cada vez más cálida, en consecuencia del CCG. Por lo que, la relación entre la temperatura y la tasa de mortalidad en ciudades calurosas se ha convertido en una medida importante de como el ser humano se ha podido adaptar a condiciones de mayor temperatura en términos fisiológicos, conductuales y también tecnológicamente y además este indicador puede pronosticar cómo pudiéramos vivir en un mundo más caliente (Harlan et al., 2014). Debido a que la mortalidad aumenta durante las olas de calor, ya existen estrategias y políticas públicas de algunas ciudades para hacer frente a estos períodos de calor extremo. Sin embargo, hay autores que advierten que el CG puede hacer que algunas partes del mundo donde la densidad poblacional es alta sean inhabitables, si es que la temperatura media global aumenta por lo menos 7 °C (Sherwood & Huber, 2010). En este contexto, Huang et al. (2011) advierten que en las zonas donde habita más de la mitad de la población mundial, serán más susceptibles a las muertes por calor, lo que en general sucederá en las grandes ciudades, debido a principalmente al efecto de islas de calor urbanas (zonas o áreas metropolitanas que son más calientes que las zonas rurales, debido a actividades antropogénicas), mala planeación urbana y la interacción entre la contaminación atmosférica y el calor.

Un ejemplo de lo anterior fue lo sucedido en la ciudad de Chicago en 1995. Durante este año, la ciudad experimento una ola de calor por cuatro días, reportándose 437 muertes. Uno de los factores con mayor influencia en el número de muertes fue la edad (edad avanzada). Además, se registró que el factor protector más importante contra este fenómeno fue el tener aire acondicionado en los hogares (Semenza et al., 1996).

En conclusión, es un hecho real y comprobado científicamente que el CCG y el CG han afectado y afectarán la salud humana de diversas maneras. Por lo que generar conocimiento científico que sea adoptado por los sistemas de salud de todos los países, en particular de aquellos en vías de desarrollo y a los pequeños Estados insulares para robustecer la planeación de estrategias y políticas públicas que ayuden a disminuir los riesgos y los impactos sanitarios debidos al cambio climático es un deber prioritario actualmente. Lo anterior ayudará a definir estrategias y medidas para proteger la salud humana, en particular la de los grupos más vulnerables.

Factores ecológicos asociados a los vectores

Los disturbios generados por actividades antropogénicas han facilitado perturbaciones sobre el ambiente, promoviendo —cambio climático— uno de los problemas ambientales más graves a los que ha tenido que enfrentarse la vida en el planeta Tierra (Loreau et al., 2006). El cambio climático modifica de manera recurrente los ciclos naturales de los ecosistemas, propiciando alteraciones en los servicios que provee. En general, la comunidad científica internacional ha concluido que, si estas alteraciones continúan, puede traer como consecuencia la pérdida de vidas humanas en gran magnitud. Los modelos de proyección más recientes sobre cambio climático sugieren que para el año 2100 habrá una fuerte variación del clima, con un aumento global de la temperatura del planeta de 4.3 ± 0.74 °C, juntamente con el incremento de precipitaciones, deshielos, inundaciones, incendios forestales, en otros (IPCC, 2014). En particular, el IPCC sugiere que el cambio climático podría influir negativa y significativamente sobre diversos niveles de la biodiversidad (Beaumont et al., 2011; Foden et al., 2013).

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2007) ha documentado los efectos del cambio climático sobre diversos eventos meteorológicos registrados para América Latina, entre los que podemos destacar: *i*) aumento de fenómenos meteorológicos extremos (como el arribo del huracán Catarina a Brasil, 2004); *ii*) incremento en los procesos de degradación por cambio de usos de suelo; *iii*) incremento de la temperatura para América del Sur y el Caribe;

iv) aumento en el porcentaje de áreas desertificadas en todos los países; *v)* incremento en el número de especies catalogadas en peligro para México, Perú, Brasil, Ecuador y Colombia, y *vi)* reducción de la capa forestal.

En general, Peterson et al. (2005) han propuesto que las poblaciones naturales pueden responder de cuatro vías ante el cambio climático: *i)* los organismos poco sensibles o expuestos a bajos niveles de cambio climático no modificarán sus intervalos de distribución geográfica a través del tiempo; *ii)* la distribución espacial de las especies podría verse modificada hacia ambientes térmicos más favorables si han estado expuestas durante un tiempo suficiente y si presentan una suficiente capacidad de dispersión; *iii)* los organismos pueden adaptarse a ambientes novedosos locales ya sea por cambios etológicos, fisiológico o por respuestas adaptativas evolutivas, y *iv)* por último, puede ocurrir un fracaso adaptativo, un cuello de botella y la extinción local o total de la especie. A pesar de que la extinción es un proceso natural, en las últimas décadas hemos elevado de diez a cien veces la velocidad de desaparición de especies (Barnosky et al., 2011).

Estudios recientes han documentado la relación existente entre la pérdida de la biodiversidad, en ocasiones, favorecida por el cambio climático con el aumento de las enfermedades infecciosas en el hombre y la fauna (silvestre y doméstica). Las enfermedades infecciosas emergentes se promueven cuando organismos patógenos causantes de la enfermedad encuentran hospederos susceptibles para su establecimiento y algunas veces afecta la supervivencia de estos (McMichel, 2004).

Cuando los disturbios originados por actividades antropogénicas perturban la fisionomía del paisaje, promueven cambios en la estructura de la comunidad mediante la introducción, eliminación o aumento de la riqueza específica, también promueve cambios en la dinámica de los agentes infecciosos (Ostfeld et al., 2005). Las enfermedades infecciosas emergentes se han visto favorecidas principalmente por alteraciones producidas por actividades antropogénicas que facilitan cambios en la configuración del paisaje original, modificando la riqueza y abundancia relativa tanto a especies vectores como especies hospederas (Dazak & Cunningham, 2003). Asimismo, se ha documentado que el área del fragmento está relacionada con la abundancia relativa

de vectores y la prevalencia de agentes infecciosos en los mismos (Brownstein et al., 2005; Estrada-Peña, 2009). Algunos índices de degradación del hábitat han sugerido una mayor abundancia de reservorios, vectores y de parásitos en ambientes con elevados niveles de degradación (Gillespie et al., 2005; Prusinski et al., 2006). En este contexto, se ha propuesto que la protección de los humanos contra los agentes infecciosos sea una más de las funciones de las comunidades con altos índices de biodiversidad (Ostfeld, 2009) y de ecosistemas menos fragmentados (Suzán et al., 2008).

En comunidades con alta diversidad de especies se disminuye la transmisión de patógenos debido a que las especies varían de acuerdo con su destreza para adquirir y transmitir la infección. Las especies al interior de la comunidad pueden fungir como reservorio, hospedero alternativo, no hospedero, vector y no vector. En comunidades donde hay especies hospederas con baja o nula capacidad de transmitir la infección, se reduce el riesgo de enfermedad; a este fenómeno se le ha denominado “efecto de dilución” (Schmidt & Ostfeld, 2001). El efecto de dilución puede operar en dos direcciones: *i*) “dilución denso-dependiente”, la cual actúa cuando la posibilidad de adquirir la infección disminuye debido a que las especies en la comunidad que son hospederos reservorios no son tan abundantes, debido a la presencia de otras especies que registran una baja capacidad de adquirir o transmitir la infección a través de la depredación o competencia (Pexioto & Abramson, 2006; Rudolf & Antonovics, 2005), y *ii*) “dilución dependiente de la frecuencia”, la cual se presenta cuando hay una disminución en los porcentajes de infección como resultado de una menor probabilidad de que las especies o individuos susceptibles tengan contacto con los reservorios (Ostfeld & Mills, 2007; Rudolf & Antonovics, 2005). El efecto de dilución se ha documentado para enfermedades transmitidas por vectores como la enfermedad de Lyme (Giery & Ostfeld, 2007) y el virus del Nilo (Ezenwa et al., 2006; Allan et al., 2009), así como para las transmitidas de manera directa como el hantavirus (Suzán et al., 2009), hongos virulentos en crustáceos (Hall et al., 2009) y el parásito *Schistosoma mansoni* (Johnson et al., 2009).

La destreza que tiene un vector para ser infectado, que replique el virus y que posteriormente lo transmita se conoce como competencia vectorial

(Woodring et al., 1996), por lo que los vectores más eficientes para transmitir un virus pueden variar entre diferentes especies. En general, se ha documentado un incremento en la propagación y establecimiento de virus ocasionadas por cambios ambientales (presencia de vectores y hospederos) que han favorecido un incremento en la amplitud de distribución geográfica (Kramer et al., 2008).

Por lo anterior, se puede sugerir que la variedad ambiental promovida por el cambio climático tiene un efecto significativo en la epidemiología de las enfermedades infecciosas producidas principalmente por vectores.

En particular, la fiebre del Nilo es causada por el virus del Nilo Occidental (*arthropod-borne virus*) el cual es transmitido por un artrópodo hacia un hospedero vertebrado (McMichael, 2004). Generalmente, el ciclo enzoótico del virus del Nilo se realiza entre mosquitos vectores y aves hospederas, y accidentalmente el virus puede ser transmitido a un amplio número de especies de vertebrados hospederas incluyendo al humano (Miller et al., 2003). Los vectores que transmiten el virus del Nilo varían ampliamente y los mosquitos del género *Culex* son considerados el principal de ellos (Hayes et al., 2005). Por ejemplo, en Estados Unidos se han documentado 64 especies de mosquitos del género *Culex* (Turell et al., 2005).

La amplia distribución geográfica que han registrado los mosquitos (*Culicidae*) está relacionada con la elevada capacidad para adaptarse a diversos hábitats, que van desde las zonas semiáridas hasta las selvas tropicales, incluyendo un amplio abanico de zonas rurales, urbanas, áreas de cultivo, etc. (Service, 1996). En particular para México, se han documentado 247 especies de culícidos, 55 de las cuales se han registrado para zonas urbanas y suburbanas.

En general, la presencia del virus del Nilo se ha documentado en todos los continentes, siendo más recurrente en ambientes tropicales y subtropicales; también se ha registrado en ambientes de clima templado, aún en zonas donde el clima templado está presente durante cortos periodos de tiempo (Linke et al., 2007).

Las aves hospederas han sido reconocidas como reservorios amplificadores del virus del Nilo debido a que al interior de las aves el virus puede replicarse de forma masiva durante largos periodos, lo que facilita la transmisión e infección

a vectores capaces de transmitir el virus (Hubálek & Halouzka, 1999; Van der Meulen et al., 2005). En general, los movimientos de dispersión de las aves y, en particular, los eventos de migración de algunas especies de aves han facilitado el establecimiento de nuevas enfermedades a grandes distancias espaciales de donde la infección fue adquirida (Reed et al., 2003). Por lo anterior, los cambios ambientales promovidos por el cambio climático (como los cambios en la distribución y disponibilidad de las aguas superficiales, olas de calor, inundaciones, sequías, alteraciones en el paisaje, etc.) han alterado los intervalos de amplitud de distribución geográfica de las especies vectores, colonizando nuevas áreas y, por ende, la gama de especies de vertebrados hospederos.

Por su parte, el mosquito del género *Aedes* se encuentra íntimamente relacionado a la especie humana, por lo que el cambio climático, al producir modificaciones ambientales, promueve alteraciones conductuales en las poblaciones humanas, actuando como catalizador de nuevas consecuencias directas en la salud individual mediante la transmisión de enfermedades como el dengue, Zika y Chikungunya. En particular las enfermedades transmitidas por vectores mantienen una estrecha relación con las condiciones climáticas, por ello, los patrones de distribución y abundancia asociados al mosquito *Aedes* tendrán una fuerte relación con la presencia de enfermedades. Los modelos predictivos sugieren que las áreas afectas por el cambio climático podrán aumentar su temperatura en 4 °C y generar una población humana contagiada de alrededor de 6000 millones (Stern, 2007). Lo anterior concuerda con lo documentado por Fujita et al. (2023) quien señala que los aumentos de temperatura debido al cambio climático traerán un aumento en enfermedades infecciosas.

Como consecuencia del cambio climático se ha registrado un incremento en la intensidad de las sequías extremas. Este hecho puede facilitar la aparición de criaderos de huevos de mosquito en los márgenes de los cuerpos de agua (como los ríos, estanques o presas) que muestren una disminución de los caudales. En contraste, las lluvias intensas promovidas por el cambio climático también pueden favorecer la presencia de criaderos que pueden ser colonizados rápidamente por mosquitos. Lo anterior respalda lo observado en poblaciones del mosquito *Aedes*, donde el impacto en el tamaño poblacional

está asociado a la ausencia de agua potable en los periodos de sequía, resultado de los malos hábitos de almacenaje de agua por los pobladores (sitios inapropiados de almacén de agua y mal tapados) y, posteriormente, en el periodo de lluvias el vector coloniza rápidamente los cuerpos de agua aledaños (Ortiz-Bultó et al., 2008).

En particular, el dengue es una enfermedad infecciosa aguda de etiología viral, la cual es causada por cuatro serotipos: DEN-1, DEN-2, DEN-3 y DEN-4. Tseng et al. (2009) reportan, mediante modelos de panel y el método de valoración contingente, la relación entre las condiciones climáticas y la epidemia del dengue en Taiwán. Los resultados sugieren que la probabilidad de ser infestado por dengue debido al cambio climático puede variar en un intervalo bajo (12 %), mediano (43 %) o alto (87 %) cuando la temperatura aumenta 1.8 °C. Asimismo, los componentes temperatura, precipitación, tamaño poblacional humano y densidad de mosquitos son los más importantes en una epidemia de fiebre del dengue.

Por su parte, Hales et al. (2002) documentan con base a un modelo estadístico que tanto la precipitación como la temperatura predicen correctamente la presencia o ausencia del dengue en un 89 %. Por lo que los cambios en temperatura y precipitación, debido al cambio climático, sugieren un aumento en la posibilidad de contraer dengue.

En general, la historia de vida de las enfermedades infecciosas muestra un patrón complejo por la relación que guardan con factores ambientales como el clima, recursos y muchas otras variables que hacen muy complejo el análisis. El resurgimiento de enfermedades infecciosas transmitida mediante el uso de vectores, son una señal preocupante de las consecuencias que trae para la salud humana las alteraciones de los ciclos naturales producidos por el cambio climático. Por lo anterior, es importante fortalecer la resiliencia de las comunidades para que regresen a un estado de predisturbio y atenuar los problemas de salud como producto del cambio climático. Es importante resaltar que el problema de cambio climático requiere voluntad política para incentivar los recursos económicos que permitan atenuar las actividades antropogénicas que propician un aceleramiento del cambio climático.

Referencias

- Albritton, D., R. Allen, M. Baede, & J. Church. (2001). Technical Summary. En J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, & C. A. Johnson (Eds.), *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 21-83). Cambridge University Press.
- Allan, B. F., Langerhans, R. B., Ryberg, W. A., Landesman, W. J., Griffin, N. W., Katz, R. S., Oberle, B. J., Schutzenhofer, M. R., Smyth, K. N., Maurice, A. de St. L., Clark, K. R. Crooks, Hernandez, D. E., McLean, R. G., Ostfeld, R. S., & Chase. J. M. (2009). Ecological correlates of risk and incidence of West Nile virus in the United States. *Oecologia*, *158*(4), 699-708. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-1169-9>
- An, S., J. Kug, Y. Ham, & I. Kang. (2008). Successive modulation of ENSO to the future greenhouse warming. *Journal of Climatology*, *21*(1), 3-21. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1500.1>
- Ballenger-Browning, & K., J. Elder. (2009). Multi-modal Aedes aegypti mosquito reduction interventions and dengue fever prevention. *Tropical Medicine and International Health*, *14*(12), 1542-1551. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3156.2009.02396.x>
- Barnosky, A. D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G. O., Swartz, B., Quental, T. B., Marshall, C., McGuire, J. L., Lindsey, E. L., Maguire, K. C., Mersey, B., & Ferrer, E. A. (2011). Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*, *471*, 51-57. <https://doi.org/10.1038/nature09678>
- Beaumont, L. J., Pitman, A., Perkins, S., Zimmermann, N. E., Yoccoz, N. G., & Thuiller, W. (2011). Impacts of climate change on the world's most exceptional ecoregions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *108*(6), 2306-2311. <https://doi.org/10.1073/pnas.1007217108>
- Beebe, N. W., Cooper, R. D., Mottram, P., & Sweeney, A. W. (2009). Australia's Dengue risk driven by human adaptation to climate change. *PLoS*

- Neglected Tropical Diseases*, 3(5), e429. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0000429>
- Bobb, J. F., Peng, D. R., Bell, M. L., & Dominici, F. (2014). Heat-Related Mortality and Adaptation to Heat in the United States. *Environmental Health Perspectives*, 122(8), 811-816. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307392>
- Bogoch, I. I., Brady, O. J., Kraemer, M. U. G., German, M., Creatore, M. I., Kulkarni, M. A., Brownstein, J. S., Mekaru, S. R., Hay, S. I., Groote, E., Watts, A., & Kamra, K. (2016). Anticipating the international spread of Zika virus from Brazil. *The Lancet*, 387(10016), 335-336. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)00080-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)00080-5)
- Bouma, M. J., & Dye, C. (1997). Cycles of malaria associated with El Niño in Venezuela. *Journal of the American Medical Association*, 278(21), 1772-1774. <https://doi.org/10.1001/jama.1997.03550210070041>
- Brownstein, J. S., Skelly, D. V., Holford, T. R., & Fish, D. (2005). Forest fragmentation predicts local scale heterogeneity of Lyme disease risk. *Oecologia*, 146(3), 469-475. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0251-9>
- Castellanos, J. (2016). Evidencia de la derrota en la batalla contra *Aedes aegypti*. *Biomédica: Revista del Instituto Nacional de Salud*, 36(1), 5-9. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v36i1.3268>
- Craig, M. H., Snow, R. W., & Sauer, D. le. (1999). A climate-based distribution model of malaria transmission in sub-Saharan Africa. *Parasitology Today*, 15(3), 105-111. [https://doi.org/10.1016/S0169-4758\(99\)01396-4](https://doi.org/10.1016/S0169-4758(99)01396-4)
- Dazak, P., & Cunningham, A. A. (2003). Anthropogenic change, biodiversity loss, and a new agenda for emerging diseases. *Journal of Parasitology*, 89, S37-S41.
- Departamento de Administración Nacional para el Océano y la Atmósfera de los Estados Unidos de Norteamérica. (2016). *Annual 2015 Global Climate Report*. <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/201513>
- Easterling, D. R., Meehl, G. A., Parmesan, C., Changnon, S. A., Karl, T. R., & Mearns, L. O. (2000). Climate extremes: observations, modeling,

- and impacts. *Science*, 289(5487), 2068-2074. <https://doi.org/10.1126/science.289.5487.2068>
- Ebi, K. L. (2014). Health in the New Scenarios for Climate Change. *Research International Journal of Environmental Research Public Health*, 11(1), 30-46. <https://doi.org/10.3390/ijerph110100030>
- Epstein, P. (2001). West Nile Virus and the Climate. *Journal of Urban Health*, 78, 367-71. <https://doi.org/10.1093/jurban/78.2.367>
- Estrada-Peña, A. (2009). Diluting the dilution effect: a spatial Lyme model provides evidence for the importance of habitat fragmentation with regard to the risk of infection. *Geospatial Health*, 3(2), 143-55. <https://doi.org/10.4081/gh.2009.217>
- Ezenwa, V. O., Godsey, M. S., King, R. J., & Guptill, S. C. (2006). Avian diversity and West Nile virus: testing associations between biodiversity and infectious disease risk. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273(1582), 109-117. <https://doi.org/10.1098/rspb.2005.3284>
- Foden, W. B., Butchart, S. H. M., Stuart, S. N., Vié, J. C., Akçakaya, H. R., Angulo, A., DeVantier, L. M., Gutsche, A., Turak, E., Cao, L., Donner, S. D., Katariya, V., Bernard, R., Holland, R. A., Hughes, A. F., O'Hanlon, S. E., Garnett, S. T., Şekercioğlu, C. H., & Mace, G. M. (2013). Identifying the World's Most Climate Change Vulnerable Species: A Systematic Trait-Based Assessment of all Birds, Amphibians and Corals. *PLoS ONE*, 8(6), 1-13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065427>
- Fujita, D. M., Salvador, F. S., da Silva Nali, L. H., & de Andrade Júnior, H. F. (2023). Dengue and climate changes: Increase of DENV-1 in São Paulo/Brazil-2023. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 56, 102668. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2023.102668>
- Gagnon, A. S., Smoyer-Tomic, K. E., & Bush, A. B. (2002). The El Niño Southern Oscillation and malaria epidemics in South America. *International Journal of Biometeorology*, 46, 81-89. <https://doi.org/10.1007/s00484-001-0119-6>
- Galindo, P. L. M. (2009). *La economía del cambio climático en México*. SEMARNAT-SHCP.

- Gething, P. W., Smith, D. L., Patil, A. P., Tatem, A. J., Snow, R. W., & Hay, S. I. (2010). Climate change and the global malaria recession. *Nature*, *465*, 342-345. <https://doi.org/10.1038/nature09098>
- Giery, S. T., & Ostfeld, R. S. (2007). The role of lizards in the ecology of Lyme disease in two endemic zones of the northeastern United States. *Journal of Parasitology*, *93*(3), 511-517. <https://doi.org/10.1645/GE-1053R1.1>
- Gillespie, T. R., Chapman, C. A., & Greiner, E. C. (2005). Effects of logging on gastrointestinal parasite infections and infection risk in African primates. *Journal of Applied Ecology*, *42*(4), 699-707. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01049.x>
- Grimmond, S. (2007). Urbanization and global environmental change: Local effects of urban warming. *The Geographical Journal*, *173*(1), 83-88. https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2007.232_3.x
- Guerra, C. A, Gikandi, P. W., Tatem, A. J., Noor, A. M., Smith, D. L., & Hay, S. I. (2008). The Limits and Intensity of Plasmodium falciparum Transmission: Implications for Malaria Control and Elimination Worldwide. *PLoS Medicine*, *5*(2), e38. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0050038>
- Haines, A., Kovats, R. S., Campbell-Lendrum, D., & Corvalan, C. (2006). Climate change and human health: Impacts, vulnerability and public health. *Public Health*, *120*(7), 585-596. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2006.01.002>
- Hajat, S., & Kosatky, T. (2010). Heat-related mortality: a review and exploration of heterogeneity. *Journal of Epidemiology and Community Health*, *64*(9), 753-760. <https://doi.org/10.1136/jech.2009.087999>
- Hales, S., Edwards, S. J., & Kovats, R. S. (2003). Impacts on health of climate extreme. En D. Campbell-Lendrum, C. Corvalán, K. Ebi, A. Githeko, & J. Scheraga (Eds.), *Climate change and human health: risks and responses* (pp. 79-96). World Health Organization.
- Hales, S., Wet, N. de, Maingdonald, J., & Woodward, A. (2002). Potential effect of population and climate changes on global distribution of dengue fever: an empirical model. *The Lancet*, *360*(9336), 30-834. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)09964-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)09964-6)

- Hall, S. R., Becker, C. R., Simonis, J. L., Duffy, M. A., Tessier, A. J., & Cáceres, C. E. (2009). Friendly competition: evidence for a dilution effect among competitors in a planktonic host-parasite system. *Ecology*, *90*(3), 791-801. <https://doi.org/10.1890/08-0838.1>
- Harlan, S. L., & Ruddell, D. M. (2011). Climate change and health in cities: impacts of heat and air pollution and potential co-benefits from mitigation and adaptation. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *3*(3), 126-13. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.01.001>
- Harlan, S. L., Chowell, G., Yang, S., Petitti, D. B., Morales Butler, E. J., Ruddell, & B. L., Ruddell, D. M. (2014). Heat-Related Deaths in Hot Cities: Estimates of Human Tolerance to High Temperature Thresholds. *Journal of Environmental Research and Public Health*, *11*(3): 3304-3326. <https://doi.org/10.3390/ijerph110303304>
- Hay, S. I., Cox, J., Rogers, D. J., Randolph, S. E., Stern, D. I., Shanks, G. D., Myers, M. F., & Snow, R. W. (2002). Climate change and the resurgence of malaria in the East African highlands. *Nature*, *415*, 905-909. <https://doi.org/10.1038/415905a>
- Hayes, E. B., Komar, N., Nasci, S. R., Montgomery, P. S., O'Leary, R. D., & Campbell, L. G. (2005). Epidemiology and transmission dynamics of West Nile virus disease. *Emerging Infectious Diseases*, *11*(8), 1167-1173. <https://doi.org/10.3201/eid1108.050289a>
- Huang, C., Barnett, A. G., Wang, X., Vaneckova, P., Fitzgerald, G., & Tong, S. (2011). Projecting future heat-related mortality under climate change scenarios: a systematic review. *Environmental Health Perspectives*, *119*(12), 1681-1690. <https://doi.org/10.1289/ehp.1103456>
- Hubálek, Z., & Halouzka, J. (1999). West Nile fever a reemerging mosquito-borne viral disease in Europe. *Emerging Infectious Diseases*, *5*(5), 643-650. <https://doi.org/10.3201/eid0505.990505>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, & L. L. White (Eds.). Organización Meteorológica Mundial.
- Jansen, C. C., & Beebe, N. W. (2010). The dengue vector *Aedes aegypti*: what comes next. *Microbes and Infection*, 12(4), 272-279. <https://doi.org/10.1016/j.micinf.2009.12.011>
- Johnson, P. T. J., Lund, P. J., Hartson, R. B., & Yoshino, T. P. (2009). Community diversity reduces *Schistosoma mansoni* transmission, host pathology and human infection risk. *Proceedings of The Royal Society*, 276(1662), 1657-1663. <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.1718>
- Keatinge, W. R., Coleshaw, S. R. K, Easton, J. C., Cotter, F., Mattock, M. B., & Chelliah, R. (1986). Increased platelet and red cell counts, blood viscosity, and plasma cholesterol levels during heat stress, and mortality from coronary and cerebral thrombosis. *American Journal of Medicine*, 81(5), 795-800. [https://doi.org/10.1016/0002-9343\(86\)90348-7](https://doi.org/10.1016/0002-9343(86)90348-7)
- Kilbourne, E. (1992). Illness due to thermal extremes. En J. M. Last, & W. B. Norwalk (Eds.), *Public Health and Preventative Medicine* (pp. 491-501). Prentice Hall International.
- Kilpatrick, A. M. (2011). Globalization, land use, and the invasion of West Nile virus. *Science*, 334(6054), 323-327. <https://doi.org/10.1126/science.1201010>
- Kovats, R. S., Campbell-Lendrum, D., & Matthies, F. (2005). Climate change and human health: estimating avoidable deaths and disease. *Risk Analysis*, 25(6), 1409-1418. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2005.00688.x>
- Kramer, L. D., Styer, L. M., & Ebel, G. D. (2008). A global perspective on the epidemiology of West Nile virus. *Annual Review of Entomology*, 53, 61-81. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.53.103106.093258>

- Lanciotti, R. S., Kosoy, O.L., Laven, J. J., Panella, A. J., Velez, J. O., Lambert, A. J., & Campbell, G. L. (2007). Chikungunya virus in US travelers returning from India, 2006. *Emergence Infectious Diseases*, 13(5), 764. <https://doi.org/10.3201/eid1305.070015>
- Levitus, S., Antonov, J. I., Boyer, T. P., & Stephens, C. (2000). Warming of the world ocean. *Science*, 287(5461), 2225–2229. <https://doi.org/10.1126/science.287.5461.2225>
- Linke, S., Niedring, M., Kaiser, A., Ellerbrok, H., Mtiller, T. Conraths, F. J., Mihle, R. I., Schmidt, D., Koppen, U., Bairlein, F., Berthold, P., & George P. (2007). Serologic evidence of West Nile Virus infections in wild birds captured in Germany. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 77, 358–364.
- Loreau, M., Oteng-Yeboah, A., Arroyo, M. T. K., Babin, D., Barbault, R., Donoghue, M., Gadgil, M., Häuser, C., Heip, C., Larigauderie, A., Ma, K., Mace, G., Mooney, H. A., Perrings, C., Raven, P., Sarukhan, J., Schei, P., Scholes R. J., & Watson, R. T. (2006). Diversity without representation. *Nature*, 442, 245–246. <https://doi.org/10.1038/442245a>
- McMichael, A. J. (2004). Environmental and social influence on emerging infectious disease: past present and future. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London*, 359(1447), 1049–1058. <https://doi.org/10.1098/rstb.2004.1480>
- Miller, D. L., Manuel, M. J., Baldwin, C., Burtle, G., Ingram, D., Hines, M., & Frazier, K. S. (2003). West Nile virus in farmed alligators. *Emerging Infectious Diseases*, 9(7), 794–799. <https://doi.org/10.3201/eid0907.030085>
- Moreira Cedeño, J. E. (1986). Rainfall and flooding in the Guayas river basin and its effects on the incidence of malaria 1982–1985. *Disasters*, 10(2), 107–111. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7717.1986.tb00575.x>
- Morrison, A. C., Zielinski-Gutierrez, E., Scott, T. W., & Rosenberg, R. (2008). Defining challenges and proposing solutions for control of the virus vector *Aedes aegypti*. *PLoS Medicine*, 5(3), e68. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0050068>

- Mussil Galante, P. (2021, 29 de agosto). El calentamiento global y la salud. Nexos. <https://discapacidades.nexos.com.mx/el-calentamiento-global-y-la-salud/>
- Nash, D., Mostashari, F., Fine, A., Miller, J., O'Leary, D., Murray, K., Huang, A., Rosenberg, A., Greenberg, A., Sherman, M., Wong, S., Campbell, G. L., Roehrig, J. T., Gubler, D. J., Shieh, W.-J., Zaki, S., Smith, P., & Layton, M. (2001). The Outbreak of West Nile Virus Infection in the New York City Area in 1999. *New England Journal of Medicine*, *344*(24), 1807-1814. <https://doi.org/10.1056/nejm200106143442401>
- Nicholls, N. (1993). ENSO, drought and flooding rain in south-east Asia. En H. Brookfield, & Y. Byron (Eds.), *South-east Asia's environment future: the search for sustainability* (pp. 154-175). United Nations University Press-Oxford University Press.
- Ortíz-Bultó, P. L., Pérez Rodríguez, A. E., Rivero Valencia, A., Pérez Carreras, A., Juan Ramón, C., & Lecha Estela, L. B. (2008). La variabilidad y el cambio climático en Cuba: potenciales impactos en la salud humana. *Revista Cubana de Salud Pública*, *34*(1).
- Ostfeld, R. S. (2009). Biodiversity loss and the rise of zoonotic pathogens. *Clinical Microbiology and Infection*, *15*(supl. 1), 40-43. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2008.02691.x>
- Ostfeld, R. S., Glass, G. E., & Keesing, F. (2005). Spatial epidemiology: an emerging (or re-emerging) discipline. *Trends in Ecology and Evolution*, *20*(6), 328-336. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.03.009>
- Ostfeld, R. S., & Mills, J. N. (2007). Social behavior, demography, and rodent-borne pathogens. En J. O. Wolff, & P. W. Sherman (Eds.), *Rodent societies: an ecological and evolutionary perspective* (pp. 478-86). University of Chicago Press.
- Paaijmans, K. P., Blanford, S., Bell, A. S., Blanford, J. I., Read, A. F., & Thomas, M. B. (2010). Influence of climate on malaria transmission depends on daily temperature variation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(34), 15135-15139. <https://doi.org/10.1073/pnas.1006422107>

- Paaijmans, K. P., Read, A. F., & Thomas, M. B. (2009). Understanding the link between malaria risk and climate. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*(33), 13844-13849. <https://doi.org/10.1073/pnas.0903423106>
- Pan American Health Organization, & World Health Organization. (2015). *Neurological syndrome, congenital malformations, and Zika virus infection. Implications for public health in the Americas*.
- Pascual, M., Ahumada, J. A., Chaves, L. F., Rodó, X., & Bouma, M. (2006). Malaria resurgence in the East African highlands: Temperature trends revisited. *Proceeding of the National Academy of Science*, *103*(15), 5829-5834. <https://doi.org/10.1073/pnas.0508929103>
- Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., & Foley, J. A. (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature*, *438*, 310-317. <https://doi.org/10.1038/nature04188>
- Peixoto, I. D., & Abramson, G. (2006). The effect of biodiversity on the hantavirus epizootic. *Ecology*, *87*(4), 873-879. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[873:TEOBOT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[873:TEOBOT]2.0.CO;2)
- Petersen, L. R., & Roehrig, J. T. (2001). West Nile Virus: A reemerging global pathogen. *Revista Biomédica*, *12*(3): 208-216. <https://doi.org/10.32776/re-vbiomed.v12i3.276>
- Peterson, A. T., Tian, H., Martínez-Meyer, E., Soberon, J., Sánchez-Cordero, V., & Huntley, B. (2005). Modeling distributional shifts of individual species and biomes. En T. E. Lovejoy, & L. Hannah (Eds.), *Climate Change and Biodiversity* (pp 211-231). Yale University Press.
- Piñeiro Sande N., Martínez Melgar, J. L., Alemparte Pardavila, E., & Rodríguez García, J. C. (2004). Golpe de calor. *Emergencias*, *16*, 116-125.
- Poveda, G., Rojas, W., Quiñones, M. L., Vélez, I. D., Mantilla, R. I., Ruiz, D., Zuluaga, J. S., & Rua, G. (2001). Coupling between annual and ENSO timescales in the malaria-climate association on Colombia. *Environmental Health Perspectives*. *109*(5), 489-493. <https://doi.org/10.1289/ehp.01109489>
- Prusinski, M. A., Chen, H., Drobnack, J. M., Kogut, S. J., Means, R. G., Howard, J. J., Oliver, J., Lukacik, G., Backenson, P. B., & White, D. J. (2006). Habitat structure associated with *Borrelia burgdorferi* prevalence in small mam-

- mals in New York State. *Environmental Entomology*, 35(2), 308-319. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-35.2.308>
- Reed, K. D., Meece, J. K., Henkel, J. S., & Shukla, S. K. (2003). Birds, migration and emerging zoonoses: West Nile virus, Lyme diseases, Influenza A and Enteropathogens. *Clinical Medicine and Research*, 1(1), 5-12. <https://doi.org/10.3121%2Fcmr.1.1.5>
- Rezza, G., Nicoletti, L., Angelini, R., Romi, R., Finarelli, A. C., Panning, M., Cordioli, P., Fortuna, C., Boros, S., Magurano, F., Silvi, G., Angelini, P., Dottori, M., Ciufolini, M. G., Majori, G. C., & Cassone, A. (2007). Infection with chikungunya virus in Italy: an outbreak in a temperate region. *The Lancet*, 370(9602), 1840-1846. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(07\)61779-6](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(07)61779-6)
- Rodó, X., San-José, A., Kirchgatter, K., & López, L. (2021). Changing climate and the COVID-19 pandemic: more than just heads or tails. *Nature Medicine*, 27, 576-579. <https://doi.org/10.1038/s41591-021-01303-y>
- Rodríguez, M., Mance, H., Barrera, X., & García, C. (2015). *Cambio climático: lo que está en juego*. Fundación Friedrich Ebert-Universidad de los Andes. <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/12047.pdf>
- Rogers, D. J., & Randolph, S. E. (2000). The global spread of malaria in a future, warmer world. *Science*, 289(5485), 1763-1766. <https://doi.org/10.1126/science.289.5485.1763>
- Rothrock, D. A., Yu, Y., & Marykut, G. A. (1999). Thinning of the Arctic sea ice cover. *Geophysics Research Letters*, 26(23), 3469-3472. <https://doi.org/10.1029/1999GL010863>
- Rudolf, V. H. W., & Antonovics, J. (2005). Species coexistence and pathogens with frequency-dependent transmission. *The American Naturalist*, 166(1), 112-118. <https://doi.org/10.1086/430674>
- Russac, P. A. (1986). Epidemiological surveillance: malaria epidemic following the Niño phenomenon. *Disasters*, 10(2), 112-117. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7717.1986.tb00576.x>
- Russell, B. M., Kay, B. H., & Shipton, W. (2001). Survival of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) eggs in surface and subterranean breeding sites du-

- ring the northern Queensland dry season. *Journal of Medical Entomology*, 38(3), 441-445. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-38.3.441>
- Schmidt, K., & Ostfeld, R. S. (2001). Biodiversity and the dilution effect in disease ecology. *Ecology*, 82(3), 609-619. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2001\)082\[0609:BATDEI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2001)082[0609:BATDEI]2.0.CO;2)
- Semenza J. (2014). Climate Change and Human Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(7), 7347-7353. <https://doi.org/10.3390/ijerph110707347>
- Semenza, J. C., Rubin, C. H., Falter, K. H., Selanikio, J. D., Flanders, W. D., Howe, H. L., & Wilhelm, J. L. (1996). Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago. *New England Journal of Medicine*, 335(2), 84-90. <https://doi.org/10.1056/nejm199607113350203>
- Service, M. W. (1996). *Medical Entomology for Students*. Chapman y Hall.
- Sherwood, S. C., & Huber, M. (2010). An adaptability limit to climate change due to heat stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(21), 9552-9555. <https://doi.org/10.1073/pnas.0913352107>
- Soverow, J. E., Wellenius, G. A., Fisman, D. N., & Mittleman, M. A. (2009). Infectious disease in a warming world: how weather influenced West Nile virus in the United States (2001-2005). *Environmental Health Perspectives*, 117(7), 1049-1052. <https://doi.org/10.1289%2Fehp.0800487>
- Stern, N. H. (2007). *The Economics of Climate Change: the Stern Review*. Cambridge University press.
- Suzán, G., Armién, A., Mills, J. N., Marcé, E., Ceballos, G., Ávila, M., Salazar-Bravo, J., Ruedas, L., Armién, B., & Yates, T. L. (2008). Epidemiological considerations of rodent community composition in fragmented landscapes in Panama. *Journal of Mammalogy*, 89(3), 684-690. <https://doi.org/10.1644/07-MAMM-A-015R1.1>
- Suzán, G., Marcé, E., Giermakowski, J. T., Mills, J. N., Ceballos, G., Ostfeld, R. S., Armién, B., Pascale, J. M., & Yates, T. L. (2009). Experimental Evidence for reduced rodent diversity causing increased hantavirus prevalence. *PLoS ONE*, 4(5), e5461. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0005461>

- Tseng, W. C., Chen, C. C., Chang, C. C., & Chu, Y. H. (2009). Estimating the economic impacts of climate change on infectious diseases: a case study on dengue fever in Taiwan. *Climatic Change*, 92(1), 123-140. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9437-6>
- Turrel, M. J., Dohm, D. J., Sardelis, M. R., O'guinn, M. L., Andreadis, T. G., & Blow, A. J. (2005). An update on the Potential of North American Mosquitoes (Diptera: Culicidae) to Transmit West Nile Virus. *Journal of Medical Entomology*, 42(1), 57-62. <https://doi.org/10.1093/jmedent/42.1.57>
- Van der Meulen, K. M., Pensaert, M. B., & Nauwynck, H. J. (2005). West Nile virus in the vertebrate world. *Archives of Virology*, 150, 637-657. <https://doi.org/10.1007/s00705-004-0463-z>
- Van Kleef, E., Bambrick, H., & Hales, S. (2010). *The geographic distribution of dengue fever and the potential influence of global climate change*. TropIKA.net.
- Weaver, S. C., & Lecuit, M. (2015). Chikungunya virus and the global spread of a mosquito-borne disease. *New England Journal of Medicine*, 372(13), 1231-1239. <https://doi.org/10.1056/nejmra1406035>
- Weaver, S. C., & Reisen, W. K. (2010). Present and future arboviral threats. *Antiviral Research*, 85(2), 328-345. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2009.10.008>
- Wittenberg, A. T. (2009). Are historical records sufficient to constrain ENSO simulations? *Geophysics Research Letters*, 36(12). <https://doi.org/10.1029/2009GL038710>
- Woodhouse, P. R., Khaw, K.-T., & Martyn, P. (1993). Seasonal variation of blood pressure and its relationship to ambient temperature in an elderly population. *Journal of Hypertension*, 11(11), 1267-1274.
- Woodring, J. L., Higgs, S., & Beaty, B. J. (1996). Natural cycles of vector-borne pathogens. En B. J. Beaty, & W. C. Marquardt (Eds.), *The biology of disease vectors* (pp. 51-72). University Press of Colorado.
- Woodward, A., Smith, K. R., Campbell-Lendrum, D., Chadee, D. D., Honda, Y., Liu, Q., Olwoch, J., Revich, B., Sauerborn, R., Chafe, Z., Confalonieri, U., & Haines, A. (2014). Climate change and health: on the latest IPCC re-

- port. *The Lancet*, 383(9924), 1185-1189. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)60576-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60576-6)
- World Health Organization. (1998). El Niño and its health impacts. *Weekly Epidemiological Record*, 20, 148-152.
- World Health Organization. (2011). *World Malaria Report*. WHO.
- World Health Organization. (2012). *Global strategy for dengue prevention and control, 2012-2020*. WHO.
- World Health Organization. (2016). *Zika virus microcephaly and Guillain-Barré syndrome. Situation report*.
- World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. WHO. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1>

Indicadores e índices de salud y cambio climático

Alexis Joavany Rodríguez Solís

Enrique Sánchez Salinas

Ma. Laura Ortiz Hernández

María Luisa Castrejón Godínez

Efectos del cambio climático sobre la salud

El cambio climático como consecuencia de las actividades humanas tiene un impacto significativo sobre los ecosistemas y la salud humana a nivel mundial (Abbass et al., 2022; Parmesan et al., 2022; Rocque et al., 2021). Algunos efectos en la salud son conocidos como consecuencias de desastres en los ecosistemas naturales (Ebi et al., 2021), por ejemplo, una condición climática puede modificar el hábitat o el área de distribución de vectores para enfermedades, como mosquitos, ratas y diversos parásitos (Iwamura et al., 2020; Thomson & Stanberry, 2022). Los riesgos para la salud humana son múltiples incluyendo alergias, enfermedades infecciosas, enfermedades respiratorias, desordenes reproductivos, cáncer, entre otros (Baker et al., 2021; Singh & Kumar, 2022; Zhao et al., 2022).

Entre las posibles repercusiones del cambio climático sobre la salud humana (figura 1) se encuentran los efectos directos y los efectos indirectos. Los primeros se relacionan con el aumento de la incidencia de enfermedades infecciosas y las transmitidas por vectores como el paludismo y el dengue, así como las ocasionadas por alérgenos y contaminantes transmitidos en aerosoles. Los indirectos están relacionados con la nutrición, dados sus efectos negativos sobre la producción de alimentos y su valor nutricional (malnutrición), las afectaciones generadas por la alteración de la frecuencia de los fenómenos meteorológicos extremos (morbilidad y mortalidad por daños directos a los humanos y a la infraestructura sanitaria) y los daños a los sistemas ecológicos y sociales (Cole et al., 2023; Rodrigues et al., 2023; Schrijver et al., 2023).

En un futuro, el cambio climático afectará inevitablemente los requisitos básicos para mantenimiento de la salud como el aire, el agua, los alimentos y la vivienda. Se espera que los efectos sobre la salud humana sean más severos para personas de la tercera edad, niños, y en particular para las mujeres o aquellas personas con enfermedades o condiciones médicas preexistentes (Akerlof et al., 2015; Kosanic et al., 2022; Lindsay et al., 2022; Ngcamu, 2023).

Figura 1. Principales impactos del cambio climático relacionados con la salud humana



Fuente: Elaboración propia con información de Liu, Trtanj et al. (2021) y Center for Disease Control and Prevention (2022).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), se pronostica que entre los años 2030 y 2050 el cambio climático causará aproximadamente 250 000 defunciones adicionales por año, principalmente en países en vías de desarrollo, debido a problemáticas de salud como la nutrición deficiente, enfermedades transmitidas por vectores como la malaria (paludismo), enfermedades diarreicas y el estrés generado por las altas temperaturas. Los sectores más vulnerables a las implicaciones del cambio climático sobre la salud serán adultos mayores, mujeres, niños, personas con problemáticas de salud subyacentes, personas en pobreza, migrantes y desplazados de sus comunidades (World Health Organization [WHO], 2021).

Generalidades sobre indicadores e índices ambientales

Los indicadores ambientales son mediciones científicas de la trayectoria de las condiciones ambientales a través del tiempo, los cuales informan de manera sistemática sobre el estado del ambiente, la presión y los efectos resultantes sobre la salud tanto ecológica como humana (Gareiou et al., 2023; Quiroga, 2009).

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) define a un indicador ambiental como un parámetro o el valor resultante de un conjunto de parámetros que ofrece información sobre un fenómeno con un significado dado por una definición clara de su función (OECD, 1993). En la tabla 1 se presentan los principales indicadores ambientales considerados por esta organización.

Los indicadores ambientales son construidos específicamente para que los actores o usuarios puedan contar con evidencias, información cuantitativa, selecta, procesada, descrita y conceptualizada en temáticas ambientales. Esta información científica puede facilitar la toma de decisiones respecto a políticas públicas en problemas ambientales críticos o urgentes (Cedeño-Hidalgo et al., 2019; Manteiga, 2000; Quiroga, 2009).

Tabla 1. Principales indicadores ambientales

Categoría	Indicadores	Parámetros
Agua	Extracción de agua	Millones de m ³
	Tratamiento de aguas residuales	Porcentaje de aguas tratadas
Biodiversidad	Áreas naturales protegidas	Porcentaje del área terrestre total
	Cambio en la cubierta del suelo	Porcentaje de pérdida de vegetación con respecto al año 2004
	Especies en peligro	Porcentaje de especies amenazadas con respecto a las conocidas
	Superficie construida	m ² per cápita
Bosque	Recursos forestales	Intensidad de uso, relación de la tala de árboles con respecto a la capacidad de producción anual de los bosques
Aire y clima	Efectos de la contaminación del aire	Mortalidad asociada a partículas finas (PM2.5) por cada 1 000 000 de habitantes
	Emisiones atmosféricas y GEI	CO ₂ toneladas per cápita anuales
	Exposición a la contaminación del aire	Exposición a partículas finas (PM2.5) µg/m ³ de aire
Materiales	Consumo de material	Toneladas per cápita anuales
	Productividad material	US\$/kg
Residuos	Desechos municipales	Kilogramos per cápita anualizados

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la OCDE (2023).

Uso de indicadores

Los usuarios de los indicadores ambientales tienen diferentes necesidades. De este modo, el conjunto apropiado de indicadores depende de su uso particular. A continuación, se presentan las cuatro categorías principales de uso (OCDE, 1993):

1. Medir el comportamiento ambiental.
2. Integración de las consideraciones ambientales en el sector político.
3. Integración de manera general de toma de decisiones del ambiente y de lo económico.
4. Informar sobre el estado del ambiente.

En los noventa surgen los primeros indicadores ambientales que intentan establecer una secuencia coherente entre el diagnóstico de una situación y la manera de cómo enfrentarlo. Permitiendo establecer políticas basadas en la información de los diferentes indicadores a través de modelos como el índice de desempeño ambiental.

Índice de desempeño ambiental

El índice de desempeño ambiental también se denomina índice de rendimiento ambiental (*Environmental Performance Index*, o por sus siglas en inglés, EPI). Es un método para cuantificar y clasificar numéricamente el desempeño ambiental de las políticas de un país. Fue desarrollado por el Centro de Política y Ley Ambiental de la Universidad de Yale en conjunto con la Red de Información del Centro Internacional de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Columbia (Wolf et al., 2022). El índice busca poner a disposición de las autoridades locales los datos referentes a las políticas públicas implementadas sobre el ambiente para comparar sus resultados con los de los últimos quince años con los países líderes en el tema y con los vecinos.

Por ejemplo, un indicador recurrente en todos los países es el de la contaminación del aire (Hsu & Zomer, 2014). En los entornos urbanos, con una

gran presencia de actividades industriales, la calidad del aire es baja debido a la presencia de diferentes sustancias químicas y otros contaminantes que se dispersan a través del aire. La contaminación del aire se ha asociado con el desarrollo de enfermedades tanto agudas como crónicas; algunos ejemplos son: infecciones respiratorias, cáncer de pulmón y enfermedades cardíacas, por lo que se relaciona con un gran número de muertes prematuras a nivel mundial (Bhatnagar, 2022; Landrigan, 2017; Xue et al., 2022). La contaminación del aire se caracteriza por la presencia de elevadas concentraciones de diferentes gases —SO₂, NO₂, CO₂, NO, CO y NOX— y material particulado —partículas finas con diámetros inferiores a 10 (PM10) y 2.5 (PM2.5) micras; en específico, las partículas finas PM2.5 son de gran preocupación para la salud humana— (Bai et al., 2018). Las partículas PM2.5, se generan por la quema de combustibles fósiles en instalaciones de generación de energía, industrias o vehículos y pueden contener en su composición trazas de elementos potencialmente tóxicos como diferentes metales pesados (Zhang et al., 2023).

La OMS estima que alrededor de 6.7 millones de muertes prematuras anuales se relacionan con la contaminación del aire. Asimismo, el 99 % de la población vive en zonas donde la contaminación del aire supera las directrices de calidad del aire de la OMS. Para el caso del material particulado PM2.5, la OMS establece un límite máximo permisible anual de 5 µg/m³ de aire (WHO, 2021), estas regulaciones son más exigentes con respecto a las directrices anteriores, por lo que se espera que los diferentes países hagan mayores esfuerzos para reducir la contaminación del aire (Carvalho, 2021).

Para México se encontró que los niveles promedio de contaminación atmosférica, específicamente de material particulado fino (PM2.5), son de 10.2 µg/m³ de aire, mientras que la norma oficial NOM-025-SSA1-2021 establece un límite máximo permisible anual de 10 µg/m³ aire (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2021). Específicamente, la ciudad de Monterrey, Nuevo León, presenta un nivel de 36 µg/m³; Toluca, Estado de México, 33 µg/m³; Ciudad de México, 25 µg/m³; Puebla, 20 µg/m³; León, Guanajuato, 19 µg/m³; Irapuato, Guanajuato, 18 µg/m³; Silao, Guanajuato, 16 µg/m³ y, Guadalajara, Jalisco, 13 µg/m³. Estas ciudades presentan la menor calidad del aire a nivel nacional. El riesgo de estas

partículas, altamente peligrosas para la salud humana, radica en que son invisibles para el ojo humano, pero son respirables (comprometiendo al sistema respiratorio de las personas expuestas), además que son capaces de filtrarse a los órganos y el torrente sanguíneo, ocasionando así enfermedades de diversos tipos (Martínez-Gaete, 2016).

Indicadores de salud ambiental

La salud ambiental, dentro del contexto de la salud pública, se refiere a la evaluación de los riesgos y daños a la salud como resultado de la degradación del ambiente. Existen diferentes amenazas ambientales para la salud, dentro de las cuales destacan la contaminación atmosférica, escasez y contaminación del agua, compuestos tóxicos como los metales, algunos hidrocarburos y plaguicidas, y el cambio climático (Riojas-Rodríguez et al., 2013). Durante el año 2012 se registraron 12.6 millones de muertes como consecuencia de vivir o trabajar en ambientes poco saludables, principalmente en niños y adultos de 50 a 75 años (WHO, 2014).

La evaluación de los riesgos sobre la salud de la población, atribuibles a la degradación ambiental, se realiza a través de diferentes indicadores. De acuerdo a su propósito existen diferentes tipos de indicadores como los de desempeño —que valoran la condición actual del ambiente para apreciar la calidad de una adecuación—, de cambio —que permiten documentar tendencias o cambios de condición a través del tiempo a medida que se aproximan o se alejan de metas establecidas—, de alerta —para predecir condiciones riesgosas antes de que se produzcan impactos perjudiciales y evitar daños—, de diagnóstico —que identifican agentes causales y de señalar una acción errónea— o de relación —que identifican la interdependencia entre indicadores para que sean más efectivos en costos—. Las características de los indicadores en un programa de monitoreo deben responder a las metas específicas del programa y a las necesidades básicas de un país (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios [COFEPRIS], 2012).

En 2003, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) propuso indicadores de salud ambiental infantil como: mortalidad infantil y sus causas en menores de cinco años, porcentaje de prevalencia de niños con asma por grupos etarios, nivel promedio de plomo en sangre en niños y jóvenes y enfermedades propagadas por el agua (WHO, 2004). Por otro lado, los países de la Unión Europea adoptaron diferentes indicadores de salud ambiental (Briggs & WHO, 2003; WHO, 2009). En el año 2006, la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) de América del Norte, en asociación con organizaciones de salud pública y los gobiernos de Canadá, Estados Unidos y México, establecieron trece indicadores de salud infantil y ambiente para América del Norte, divididos en tres campos temáticos: asma y otras enfermedades respiratorias, efectos de la exposición al plomo y otras sustancias tóxicas, y enfermedades propagadas por el agua. Existen diferentes indicadores de salud ambiental, mismos que se describen más adelante.

Selección de indicadores

El número de los indicadores ambientales posibles correspondientes a cualquier tema de interés ambiental puede ser muy grande, por lo que es importante identificar y retener una cantidad factible y manejable de indicadores, seleccionados con base en criterios establecidos (científicos y basados en su uso) para que un programa pueda alcanzar sus objetivos y resultados deseados (tabla 2). Los indicadores de salud ambiental idóneos deben ser científicamente válidos y políticamente relevantes, por lo que tienen que cumplir con una serie de características como ser creíbles, específicos, procesables, sensibles, relevantes, sustentables, consientes, comparables, escalables, robustos, imparciales, representativos, explícitos, precisos, entendibles, medibles, con buena relación costo-beneficio, selectivos y disponibles; sin embargo, pocos indicadores de salud ambiental propuestos cumplen con todas las características, por lo cual, ser creíbles, específicos, procesables y sensibles serían sus características mínimas esenciales (COFEPRIS, 2012).

Tabla 2. Criterios determinantes para la selección de indicadores

Tipo de criterio	Criterio	Subcriterio	Descripción
Científico	Disponibilidad e idoneidad de los datos		Tomar en cuenta la disponibilidad de los datos en el momento actual o la intensidad de su levantamiento de acuerdo con las limitaciones de costo y tiempo implicadas en el proyecto, con la finalidad de no comprometer el cumplimiento de otros criterios científicos.
		Validez de los indicadores	Validez aparente
		Validez dimensional	La descripción de dimensiones se realiza a través de diferentes variables.
		Validez predictiva	La medición del indicador pronostica correctamente una situación que pudiera ser ocasionada por el fenómeno sujeto a medición.
		Validez en contenido	Concordancia entre el indicador y el objeto observado.
		Validez teórica-empírica	Determina si el indicador mide algún factor determinante o dimensión de la salud.
	Representatividad del indicador		Medición de la idoneidad del indicador para representar una dimensión específica dentro del fenómeno de interés.

Tabla 2. Criterios determinantes para la selección de indicadores

Tipo de criterio	Criterio	Subcriterio	Descripción
	Confiabilidad		Se mide por su consistencia a través de una serie de repeticiones, confirmando así que el valor muestra una variación mínima después de realizar muchas mediciones bajo condiciones variadas. La confiabilidad es requisito previo a la validez.
	Capacidad de segregación		El indicador segregable ofrece la posibilidad de dividirse en otras variables que nos informan mucho más acerca de la medición sencilla que representa.
De uso	Factibilidad		Si se encuentran ya colectados y disponibles o, en caso contrario, si es factible levantar nuevos datos tomando en cuenta el costo, facilidad y tiempo que implica obtenerlos.
	Impacto en las audiencias con relación a los temas cubiertos		La importancia de lo medido por el indicador para los afectados.
	Facilidad de manejo		Se necesita un número factible de indicadores para poder lograr determinadas metas, pero dicho número no debe ser tan voluminoso, ni tan complejo que los administradores del sistema de vigilancia no sean capaces de comprenderlo o manejarlo.

Tabla 2. Criterios determinantes para la selección de indicadores

Tipo de criterio	Criterio	Subcriterio	Descripción
	Equilibrio		Debe existir un equilibrio relativo entre todos los fenómenos de interés.
	Catalizador de acción		Impulsan la acción en una u otra forma.

Fuente: Elaboración propia con datos de la COFEPRIS (2012).

Modelos para la construcción de indicadores

La integración de los indicadores permite constituir una versión simplificada de nuestra realidad, facilitando el análisis y la interpretación de los problemas de salud a los que nos enfrentamos (WHO, 2004). El desarrollo de sistemas de información sobre salud y ambiente permite realizar la vigilancia de los factores ambientales determinantes de la salud y elaborar una política de acciones y comunicación. El diagrama fuerzas impulsoras, presión, estado, exposición, efectos y acciones (DPSEEA), desarrollado por la OMS (figura 2), encuadra este conjunto de indicadores (Gentry-Shields & Bartram, 2014; Hambling et al., 2011).

Existen diferentes modelos para estructurar, organizar y facilitar el acceso e interpretación de los indicadores ambientales. Uno de los modelos más conocido y utilizado es el denominado presión-estado-respuesta (PER), modelo que sustenta a los indicadores básicos del desempeño ambiental de México (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016). El modelo PER fue desarrollado por Friend y Rapport a finales de los setenta, además que adoptado y difundido por la OCDE (Levrel et al., 2009). Este modelo se basa en el hecho de que las diferentes actividades humanas ejercen un efecto directo e indirecto sobre el ambiente (presión), afectando su calidad y la cantidad de recursos naturales (estado) por lo que la sociedad responde a estas presiones adoptando políticas ambientales, económicas y sectoriales, tomando conciencia de las acciones llevadas a cabo (respuesta) (Polanco, 2006).

El modelo PER ha sido aplicado para la identificación de indicadores ambientales con diferentes propósitos, como evaluar la salud ambiental de ecosistemas (Gayen & Datta, 2023; Malekmohammadi & Jahanishakib, 2017; Song et al., 2022; Wang et al., 2021) y la sustentabilidad en sistemas agrícolas (Carrión-Delgado et al., 2021), actividades productivas (Neri et al., 2016), procesos de urbanización (Liu et al., 2021), municipios (Vázquez-Valencia & García-Almada, 2018) o del uso de agua (Li et al., 2019; Pandia-Fajardo, 2016). Este modelo representa una ventaja para evidenciar las presiones, estados y respuestas que ayudarán a los tomadores de decisiones o al público en general a pensar que existe una interdependencia entre las acciones ambientales que se tomen y sus impactos, además de relaciones complejas entre el ambiente, la economía y la sociedad.

Figura 2. Diagrama fuerzas impulsoras, presión, estado, exposición, efectos y acciones

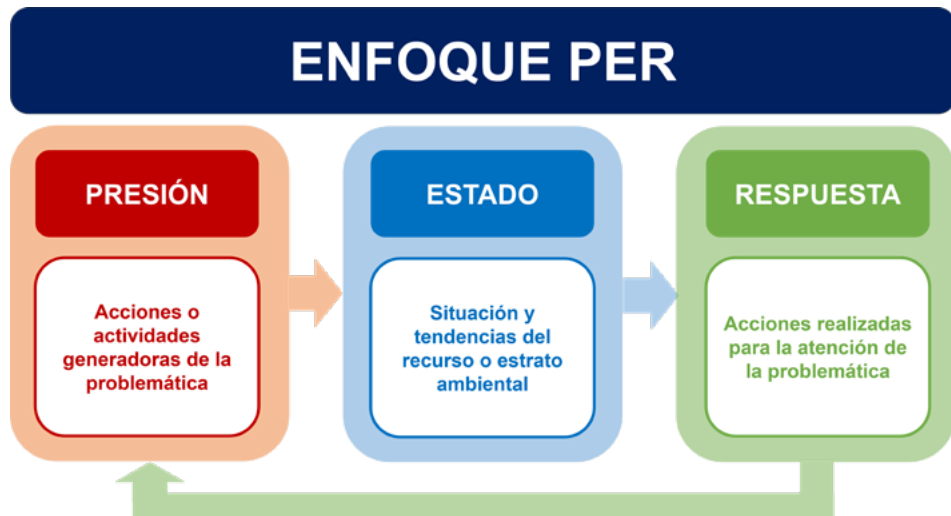


Fuente: Adaptado de Hambling et al. (2011).

El esquema PER está basado sobre la siguiente lógica: las actividades humanas ejercen presiones sobre el ambiente, cambiando el estado de los recursos naturales (calidad y cantidad), por lo que la sociedad responde a estos cambios mediante el establecimiento de políticas ambientales, económicas y sectoriales (figura 3). En el diagrama PER se clasifican los diferentes indicadores en tres grupos:

Indicadores de presión: describen los diferentes efectos de las actividades humanas sobre el ambiente y los recursos naturales (por ejemplo, presión sobre la calidad del aire por efecto de las emisiones de gases contaminantes), los indicadores de presión, a su vez, se dividen en directos (como la generación de residuos y emisiones) e indirectos (tal es el caso de la evolución y características de la planta vehicular de una localidad). Los indicadores de presión indirecta ofrecen elementos para pronosticar la evolución de la problemática; también son útiles para definir las acciones y políticas en materia ambiental que deben aplicar los sectores causantes para revertir el problema.

Figura 3. Diagrama presión-estado-respuesta (PER)



Fuente: Adaptado de Levrel et al. (2009).

Indicadores de estado: describen la calidad del ambiente y la cantidad de los recursos naturales. Estos indicadores deben ser diseñados para brindar información sobre la situación del ambiente y sus cambios a través del tiempo. Ejemplos de la evaluación de la calidad del ambiente están constituidos por los estudios de medición de las concentraciones de contaminantes en aire y suelo, mientras que a un indicador de la cantidad de los recursos naturales lo constituye la evaluación de la superficie cubierta por bosques. En este grupo de indicadores se consideran también los efectos sobre la salud y los ecosistemas relacionados al deterioro ambiental.

Indicadores de respuesta: describen los esfuerzos de la sociedad, instituciones o gobiernos. Se encuentran orientados a la reducción de la degradación ambiental y, generalmente, dirigidos al abordaje de objetivos derivados de los agentes de presión y de las variables de estado.

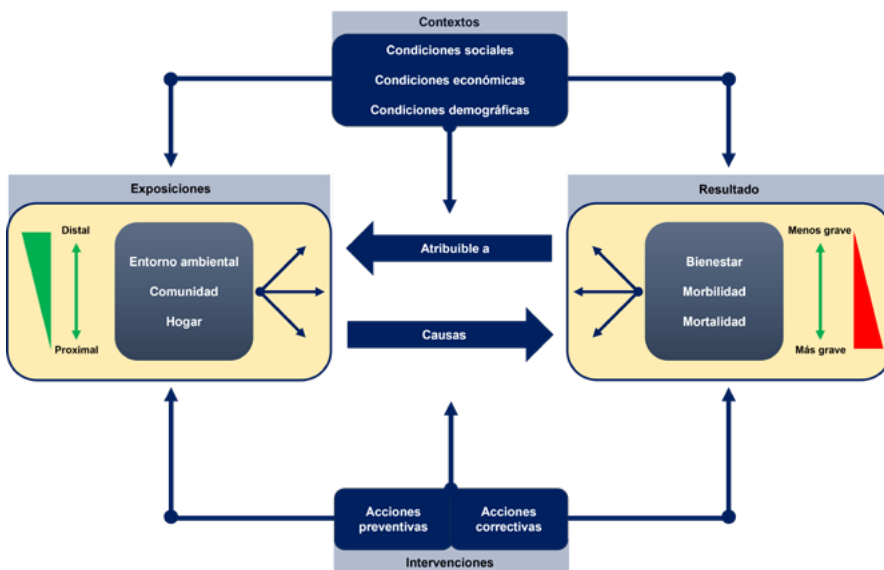
La OMS elaboró un sistema de indicadores de salud ambiental infantil para facilitar la evaluación de los efectos del ambiente en la salud, la realización de comparaciones de la situación de la salud ambiental entre países y regiones, y dar seguimiento al efecto de las intervenciones destinadas a promover la salud con relación al ambiente, utilizando el modelo múltiples exposiciones-múltiples efectos (MEME), el cual proporciona la base conceptual y teórica para elaborar, recopilar y utilizar indicadores de salud en relación al cambio climático (Briggs & WHO, 1999).

El modelo MEME (figura 4) destaca la importancia de las relaciones existentes entre la exposición ambiental y sus resultados sanitarios sobre los infantes. Dependiendo del grado de exposición se pueden producir diferentes resultados sanitarios debido a que la relación entre la exposición y los resultados sanitarios es afectada por situaciones contextuales (sociales, económicas o demográficas). Este modelo define cuatro elementos para el monitoreo de la salud ambiental infantil: indicadores de exposición, indicadores de resultados sanitarios, indicadores contextuales y los indicadores de intervenciones, con los cuales se pueden establecer las causas de los problemas de salud. Asimismo, la información socioeconómica es necesaria para establecer los tipos de exposición y determinar los grupos vulnerables, mientras que las intervenciones pueden dirigirse a disminuir la exposición o la gravedad de los resultados sanitarios (WHO, 2004).

Validación de indicadores

Una vez estructurados, se debe realizar la validación de los indicadores propuestos en función de la medida en que las entidades los utilicen y apliquen, a través de su seguimiento. La validación permite establecer la transparencia y confiabilidad de los indicadores, la cual se realiza a través de diferentes criterios (Bonney & Armijo, 2006). Al momento no existe una metodología establecida para la validación de indicadores de salud ambiental. La validación se basa principalmente en correctas prácticas para el acopio, manejo, procesamiento, análisis e interpretación de los datos de los indicadores y ocurre a través de paneles de expertos (COFEPRIS, 2012). Los principales criterios de validación en la construcción de indicadores se describen en la tabla 3. Además, se presentan los indicadores de salud ambiental considerados por diferentes organismos internacionales (tabla 4).

Figura 4. Modelo múltiples exposiciones-múltiples efectos



Fuente: Elaboración propia con base en WHO (2003).

Tabla 3. Criterios de validación para la construcción de indicadores

Criterio	Descripción
Pertinencia	Procesos y productos esenciales que desarrolla cada institución para reflejar el grado de cumplimiento de sus objetivos institucionales.
Relevancia	Asegurarse de la medición de los objetivos vinculados a lo estratégico.
Homogeneidad	Implica preguntarse cuál es la unidad de producto (atenciones médicas, asesorías legales, visitas de inspección, etc.) y procurar que dichas unidades d sean equivalentes entre sí en términos de recursos institucionales.
Independencia	Los indicadores deben responder en lo fundamental a las acciones que desarrolla y controla la institución o a las variables del entorno que se vean afectadas directamente por esas acciones. No puede estar condicionado a factores externos como la situación general del país, la labor legislativa o la actividad conexas de terceros (públicos o privados).
Costo	La obtención de la información para la elaboración del indicador debe tener costos que tengan correlación con los recursos que se invierten en la actividad.
Confiabilidad	Es independiente de quien realice la medición. En principio, la base estadística de los indicadores debe estar en condiciones de ser auditada por las autoridades de la institución y examinada por observadores externos.
Simplicidad y Comprensividad	Se deben cubrir los aspectos más significativos del desempeño, pero la cantidad de indicadores no puede exceder la capacidad de análisis de los usuarios, tanto internos como externos. Los indicadores deben ser de fácil comprensión, libre de complejidades.
Oportunidad	Debe ser generado en el momento oportuno dependiendo del tipo de indicador y de la necesidad de su medición y difusión.
No-redundancia	Debe ser único y no repetitivo.
Focalizado en áreas controlables	Focalizado en áreas susceptibles de corregir en el desempeño de los organismos públicos generando a la vez responsabilidades directas en los funcionarios y el personal.

Tabla 3. Criterios de validación para la construcción de indicadores

Criterio	Descripción
Participación	Su elaboración debe involucrar, en el proceso, a todos los actores relevantes con el fin de asegurar la legitimidad y reforzar el compromiso con los objetivos e indicadores resultantes.

Fuente: Elaboración propia con base en Bonnefoy & Armijo (2006).

Metodología para la selección, construcción y validez de indicadores de cambio climático y salud

Existe evidencia científica de los efectos del cambio climático sobre la salud humana, dentro de los cuales podemos resaltar la modificación de la distribución geográfica de vectores para enfermedades infecciosas, la modificación de la estacionalidad de algunos pólenes alergénicos y el incremento del número de muertes relacionadas con olas de calor. Además, se prevén otros efectos del cambio climático sobre la salud, como un aumento en la malnutrición infantil, aumento en la mortalidad ligada a fenómenos climáticos extremos, aumento en los índices de enfermedades trasmisibles por vectores como la malaria (paludismo) y el dengue, enfermedades diarreicas y en la morbilidad cardiovascular asociada al ozono troposférico (Cissé et al., 2022; Confalonieri et al., 2007).

La variabilidad natural, así como el efecto de las actividades humanas sobre el clima, es uno de los determinantes de la salud de la población. Por tal motivo la evaluación de los impactos del clima sobre la salud plantea dificultades, debido a que el proceso del cambio climático es detectable mediante el análisis de décadas y sus subsecuentes efectos sobre la salud aparecerán con una velocidad similar (COFEPRIS, 2012).

Tabla 4. Indicadores de salud ambiental

Fuente	Año	Tipo	Indicadores
Secretaría de Salud México	2002	Salud en México	<ul style="list-style-type: none">• Aire• Economía en salud• Metales• Agua• Sustancias tóxicas• Residuos sólidos municipales
OPS	2003	Salud infantil	<ul style="list-style-type: none">• Mortalidad infantil y sus causas en menores de 5 años• Porcentaje de prevalencia de niños con asma por grupos etarios• Nivel promedio de plomo en sangre en niños y jóvenes• Enfermedades propagadas por el agua
OMS	2004	Salud en países de la Unión Europea	<ul style="list-style-type: none">• Aire• Ruido• Alojamiento• Accidentes de tráfico• Agua, saneamiento y salud• Emergencias químicas• Radiación
CCA/OMS	2006	Salud infantil en América del Norte	<ul style="list-style-type: none">• Calidad del aire• Radiación• Ruido• Vivienda e instalaciones• Accidentes de tráfico• Agua y saneamiento• Seguridad alimentaria• Residuos peligrosos y suelos contaminadas• Indicadores químicos• Indicadores de salud laboral

Fuente: Elaboración propia con base en Bonnefoy & Armijo (2006).

Para la evaluación de la salud ambiental deben tomarse en cuenta los factores determinantes más relevantes de la salud pública y su relación con el

entorno. Sin embargo, muchas de estas relaciones no siempre pueden ser medidas o detectadas con facilidad, dificultando la observación de posibles variaciones a lo largo del tiempo. Por ello, es necesario seleccionar aquellas relaciones que presenten mayor factibilidad de medición en tiempo y desde el punto de vista económico, además que aporten datos relevantes —al conjunto de estos datos se les denomina indicadores— (Gosselin et al., 2001; OPS & OMS, 2023).

Softwares indicadores de cambio climático

Las interacciones entre el sistema climático, los ecosistemas y las actividades humanas son complejas. Por lo que, para poder entender los impactos posibles del cambio climático sobre los mismos, se han desarrollado diferentes herramientas y modelos para el desarrollo de escenarios climáticos, ambientales, de emisiones, socioeconómicos, de adaptación y vulnerabilidad. La inclusión de los escenarios en la investigación del cambio climático ha permitido evaluar la incertidumbre de las contribuciones de las actividades antropogénicas a este fenómeno, la respuesta de nuestro planeta, los impactos y el rango de los climas futuros y las implicaciones de enfoques de mitigación y adaptación (Ebi, 2014; Moss et al., 2010; O’Neill et al., 2020).

Debido a su inherente complejidad, la ciencia del clima es una disciplina fuertemente ligada a uso de herramientas computacionales. Desde el desarrollo del primer modelo numérico del clima, en la actualidad, los sistemas de monitoreo climático a nivel mundial como satélites, estaciones climáticas terrestres, boyas oceánicas y globos climatológicos generan gran cantidad de información (*terabytes*) en cada proceso, además que requieren de un gran poder de cómputo para su procesamiento, almacenamiento y el desarrollo de herramientas *software* para su análisis (Easterbrook et al., 2011).

A nivel mundial se realiza un enorme esfuerzo tecnológico y de investigación para predecir el impacto y las tendencias futuras del cambio climático. Este conocimiento es importante para la adopción de medidas preventivas y de mitigación, así como de estrategias de adaptación en ambientes urbanos y rurales (Bautista et al., 2013). Como se mencionó anteriormente, los modelos

constituyen una aproximación a la solución de esta problemática. Para el desarrollo de estos modelos se toman en cuenta diferentes aspectos como los datos del desarrollo socioeconómico y la capacidad de adaptación, los datos históricos de los elementos climáticos de las estaciones meteorológicas y los datos de referencia y las proyecciones para la concentración global promedio de CO₂, el ascenso del nivel del mar tanto regional y como global, la concentración de ozono troposférico a nivel regional, la concentración de sulfatos en aerosol y la deposición de sulfuros, entre otros (Intergovernmental Panel on Climate Change & Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Analysis, 2007).

En conjunto, estos datos se almacenan en diferentes bases, en donde pueden ser consultados y utilizados para analizar cambios y generar indicadores correspondientes a diferentes elementos del clima, evidencias locales y globales del cambio climático y sus consecuencias sobre los diferentes sistemas físicos, biológicos o humanos. Lo anterior requiere de la manipulación y el análisis de grandes cantidades de datos generados durante el transcurso de décadas, por lo que es necesario recurrir al uso de herramientas informáticas que apoyen este proceso. En la tabla 5 se describen las características y aplicaciones de diferentes *softwares* y bases de datos para el establecimiento, diagnóstico y análisis de indicadores de cambio climático.

Conclusiones

El cambio climático es uno de los principales retos que afronta la humanidad, pues sus efectos tienen un alto impacto sobre la salud humana. El incremento de los niveles atmosféricos de los diferentes gases de efecto invernadero, el incremento de la temperatura, la subida de los niveles oceánicos y el advenimiento de eventos climáticos extremos generan una presión importante sobre los sistemas de salud pública en todos los países, a tal grado que se pronostica que 250 000 defunciones adicionales por año serán consecuencia del cambio climático para el periodo 2030-2050. El aumento de la incidencia de enfermedades respiratorias, infecciosas, zoonóticas y transmitidas por vectores, así como padecimientos

cardiovasculares, mentales, deficiencias nutricionales e incluso cáncer se han asociado directamente con las consecuencias derivadas del cambio climático. Los grupos de adultos mayores, mujeres, niños, personas con padecimientos preexistentes, así como personas que viven en situación de pobreza, se han identificado como los más vulnerables a los impactos del cambio climático.

Por lo anterior, contar con un conjunto de indicadores confiables, medibles, verificables y actualizados que permitan evaluar los impactos del cambio climático sobre la salud humana es de gran relevancia para establecer acciones preventivas y correctivas, así como el desarrollo de políticas de salud que atenúen y den respuesta expedita a los retos de salud presentes y futuros, que se derivarán como consecuencia de los efectos del cambio climático.

Tabla 5. Herramientas informáticas y bases de datos para el diagnóstico y análisis de indicadores de cambio climático

Nombre	Características	Aplicaciones	Desarrollador
Agrwater	<p>Evalúa la calidad del agua de riego para la obtención de mejores cosechas, el cuidado del suelo y la conservación de acuíferos.</p>	<p>Manejar datos de la calidad del agua de cientos de pozos de agua.</p> <hr/> <p>Realizar conversiones de unidades y el cálculo de índices de la calidad del agua para riego.</p> <hr/> <p>Evaluar la toxicidad de los iones solubles en los cultivos y, por lo tanto, para mejorar la producción.</p> <hr/> <p>Identificar la familia de agua con base en el porcentaje de iones, permitiéndonos un mejor entendimiento de los efectos del agua en el suelo.</p> <hr/> <p>Evaluar los cambios de la calidad del agua de riego con el paso del tiempo y, así, evitar la degradación de los suelos agrícolas.</p>	Scientific Knowledge in Use (Skiu) ¹
Caliza™ 3.0	<p>Herramienta computacional para el análisis de riesgo o sensibilidad en el contexto de cambio climático.</p>	<p>Detección robusta de eventos extremos mediante regresión no paramétrica.</p> <hr/> <p>Estimación del núcleo del riesgo en función del tiempo y validación cruzada de los parámetros de ancho de banda del núcleo.</p> <hr/> <p>Simulación de “manos a la obra” para la construcción banda de confianza.</p> <hr/> <p>Prueba estadística de la hipótesis de estacionalidad.</p>	Climate Risk Analysis ²

Tabla 5. Herramientas informáticas... (continuación)

Nombre	Características	Aplicaciones	Desarrollador
Climate Change Analysis with Monthly Data (CLIC-MD)	Identifica tendencias del cambio climático local y regional.	Identificar las tendencias en el cambio climático local y regionalizado, fortaleciendo decisiones para enfrentar mejor los efectos adversos y aprovechando los acontecimientos positivos del cambio climático.	Scientific Knowledge in Use (Skiu) ¹
		Calcular índices agroclimáticos como: humedad, aridez, erosión por la concentración de lluvia, entre otros, mejorando las actividades agrícolas y reduciendo los daños al medio ambiente.	
		Conocer el periodo de lluvia continua, esencial para elegir la variedad de los cultivos, optimizando el uso del agua de lluvia ayudando, así, a la conservación de acuíferos y obteniendo un mayor rendimiento de recursos.	
CLIM-X-DETECT	Herramienta integrada en el paquete Caliza™ 3.0.	Detectar eventos extremos en función del tiempo y de series del clima a lo largo de los años.	Climate Risk Analysis ³
Energy Multi-Criteria Analysis Tool (Energy-MCA)	Esta herramienta utiliza más de seiscientos conjuntos de escenarios energéticos, cada uno con diferentes objetivos para la sostenibilidad energética.	Generar escenarios energéticos y climáticos con la finalidad de evaluar la sostenibilidad energética, la seguridad energética, la salud y los costos.	International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) ⁴

Tabla 5. Herramientas informáticas... (continuación)

Nombre	Características	Aplicaciones	Desarrollador
Indicadores de cambio climático (ICC)	Cálculo de indicadores de cambio climático con datos diarios.	Calcular los indicadores de cambio climático sugeridos por el panel intergubernamental, manejando millones de datos diarios de temperatura y precipitación pluvial. Identificación del tipo de daño o beneficio que traería el cambio climático, como, por ejemplo, el cambio en las noches frías, noches cálidas, días frescos, días calurosos, índices simples de intensidad diaria y los días muy húmedos, entre otros.	Scientific Knowledge in Use (Skiu) ¹
LEAP	Herramienta basada en escenarios de cambio climático para analizar el consumo de energía, producción y extracción de recursos en todos los sectores económicos.	Correlacionar indicadores con la producción agrícola, con la migración de especies de fauna silvestre, con la productividad del ganado, con los posibles cambios en la fenología de las plantas, con aspectos de salud humana y con prevención de riesgos de desastre. Determinar las fuentes y sumideros de GEI, tanto en el sector energético como en sectores no energéticos. Analizar las emisiones de contaminantes y contaminantes climáticos de vida corta para el estudio de los beneficios climáticos de la reducción de la contaminación atmosférica local. Apoyar el desarrollo de estudios de mitigación de las emisiones de GEI y estrategias de desarrollo de bajas emisiones.	Stockholm Environment Institute ⁵

Tabla 5. Herramientas informáticas... (continuación)

Nombre	Características	Aplicaciones	Desarrollador
Monitoring Climate Change with Geo-referenced Data (MOCLIC)	Utiliza los datos obtenidos por las estaciones meteorológicas para identificar tendencias de cambio en las temperaturas extremas (máxima y mínima) ocasionadas por el cambio climático de una comunidad en específico.	Almacenar y consultar datos del clima georreferenciados. Calcular índices bio y agroclimáticos. Definir el periodo de lluvia de uno a dos años para una localidad determinada. Generar datos para el estudio de la variabilidad de los elementos del clima e índices agroclimáticos a lo largo del tiempo (meses o años).	Universidad Nacional Autónoma de México ⁶
Pearson T	Herramienta que se utiliza en conjunto con el paquete Caliza™ 3.0.	Identificar tendencias de cambio climático a nivel local mediante la aplicación del índice de correlación y la prueba de Mann-Kendall. Calcular el coeficiente de correlación de Pearson entre dos series climáticas a lo largo del tiempo.	Climate Risk Analysis ³
RAMPFIT	Herramienta que se utiliza en conjunto con el paquete Caliza™ 3.0.	Cuantificar una transición climática usando una regresión no lineal y buscar un óptimo global.	Climate Risk Analysis ³
Soil and Environment (S&E)	Analiza parámetros de la calidad del suelo.	Evaluar las funciones ambientales de los suelos para la selección de sitios para la construcción de vivienda considerando su poder amortiguador ante contaminantes como metales pesados y substancias orgánicas.	Scientific Knowledge in Use (Skiu) ¹

Tabla 5. Herramientas informáticas... (continuación)

Nombre	Características	Aplicaciones	Desarrollador
TAUEST	Herramienta que se utiliza en conjunto con el paquete Caliza™ 3.0.	Identificar los suelos con mayor aptitud para producción de alimentos que sean aptos como hábitat de flora y fauna silvestre y sitios para la recarga de los acuíferos.	
		Identificar los suelos que más almacenan carbono orgánico contribuyendo, así, a disminuir el cambio climático.	
WEAP	Sistema para la evaluación y planificación de los recursos hídricos.	Identificar y valorar los suelos de importancia arqueológica o geológica.	
		Ajustar datos climáticos a un modelo AR1.	Climate Risk Analysis ³
WEAP	Sistema para la evaluación y planificación de los recursos hídricos.	Sistema integrado de planeación de recursos hídricos.	Stockholm Environment Institute ⁷
		Modelos para precipitación, escorrentía, infiltración, evaporación, requerimientos de cultivos y rendimientos, interacción agua superficial/agua subterránea y calidad del agua dentro de la corriente.	Construir modelos, ecuaciones y variables enlazados a hojas de cálculo y otros modelos, reportes mediante gráficos, tablas o mapas.

Tabla 5. Herramientas informáticas... (continuación)

Nombre	Características	Aplicaciones	Desarrollador
Climate Data Explorer (CAIT)	Conjunto de datos de climáticos para el análisis del clima, las emisiones y acciones ante el cambio climático.	Emisiones históricas, mapas, proyección de emisiones, deforestación, equidad, contribución de las empresas y acciones para responder al cambio climático.	World Resources Institute ⁸
Copernicus Climate Change Service	Engloba 390 conjuntos de datos e indicadores climáticos.	Conjunto de datos e indicadores climáticos para el desarrollo de legislaciones y políticas ambientales, o tomar decisiones críticas en eventos de emergencia.	The European Earth observation programme Copernicus ⁹
Indicators of Hydrologic alteration (IHA)	Proporciona información útil para entender los impactos hidrológicos de las actividades humanas o el desarrollo de recomendaciones de corrientes ambientales para los gestores del agua.	Calcular el momento y el flujo máximo de inundación más grande de cada año o de los más bajos, y calcular la media y la varianza de estos valores sobre un cierto período. Describir estadísticamente los patrones de cambio de un río o lago debido a los impactos abruptos, como la construcción de presas o cambios más graduales, resultados de cambios en el uso de la tierra y el agua.	The Nature Conservancy ¹⁰
EPA: Climate Change Indicators	Conjunto de indicadores relacionados a las causas y efectos del cambio climático.	Datos sobre indicadores de gases de efecto invernadero, el clima, océanos, nieve y hielos, salud y sociedad y los ecosistemas.	US Environmental Protection Agency (EPA) ¹¹

Tabla 5. Herramientas informáticas... (continuación)

Nombre	Características	Aplicaciones	Desarrollador
The U.S. Global Change Research Program (USGCRP)	Conjunto de indicadores relacionados a las causas y efectos del cambio climático.	Datos sobre índice de emisiones anuales de GEI, extensión de hielo en el mar ártico, dióxido de carbono atmosférico, cobertura de bosques y pastizales, temperatura de la superficie global, días calurosos y fríos, concentración de clorofila en los océanos, temperatura de la superficie marina, inicio de la estación de primavera, almacenamiento terrestre de carbono e infecciones por <i>Vibrio</i> sp.	The U.S. Global Change Research Program ¹²

¹ <http://www.actswithscience.com/>
² <http://www.climate-risk-analysis.com/software/caliza/index.html>
³ <http://www.climate-risk-analysis.com/software/other/index.html>
⁴ <http://www.iiasa.ac.at/web-apps/ene/GeaMCA/McaTool.html>
⁵ <http://www.sei-us.org/leap>
⁶ <http://molic.software.informer.com/>
⁷ <http://sei-us.org/software/weap>
⁸ <http://cait.wri.org/>
⁹ <http://www.copernicus.eu/>
¹⁰ <https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/IndicatorsofHydrologicalIteration/Pages/IHA-Software-Download.aspx>
¹¹ <https://www.epa.gov/climate-indicators>
¹² <http://www.globalchange.gov/>

Fuente: Elaboración propia.

Referencias

- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(28), 42539-42559. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>
- Akerlof, K. L., Delamater, P. L., Boules, C. R., Upperman, C. R., & Mitchell, C. S. (2015). Vulnerable populations perceive their health as at risk from climate change. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(12), 15419-15433. <https://doi.org/10.3390/ijerph121214994>
- Bai, L., Wang, J., Ma, X., & Lu, H. (2018). Air pollution forecasts: An overview. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(4), 780. <https://doi.org/10.3390/ijerph15040780>
- Baker, R. E., Mahmud, A. S., Miller, I. F., Rajeev, M., Rasambainarivo, F., Rice, B. L., Takahashi, S., Tatem, A. J., Wagner, C. E., Wang, L. F., Wesolowski, A., & Metcalf, C. J. E. (2022). Infectious disease in an era of global change. *Nature Reviews Microbiology*, 20(4), 193-205. <https://doi.org/10.1038/s41579-021-00639-z>
- Bautista, F., Bautista-Hernández, D. A., Álvarez, O., Anaya-Romero, M., & de la Rosa, D. (2013). Software para identificar las tendencias de cambio climático a nivel local: un estudio de caso en Yucatán, México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 19(1), 81-90. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.09.073>
- Bhatnagar, A. (2022). Cardiovascular effects of particulate air pollution. *Annual Review of Medicine*, 73, 393-406. <https://doi.org/10.1146/annurev-med-042220-011549>
- Bonnefoy, J. C., & Armijo, M. (2006). *Indicadores de desempeño en el sector público*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Naciones Unidas. <https://hdl.handle.net/11362/5611>
- Briggs, D., & World Health Organization. (1999). *Environmental health indicators: framework and methodologies* [No. WHO/SDE/OEH/99.10]. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-SDE-OEH-99.10>

- Briggs, D., & World Health Organization. (2003). *Making a difference: Indicators to improve children's environmental health*. WHO. <https://iris.who.int/handle/10665/43721>
- Carrión-Delgado, J. M., Valdés-Rodríguez, O. A., & Gallardo-López, F. (2021). Sustainability of Four Agroecosystems in the State of Veracruz, Mexico. *Agro Productividad*, 14(3), 49-54. <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i3.1760>
- Carvalho, H. (2021). New WHO global air quality guidelines: more pressure on nations to reduce air pollution levels. *The Lancet Planetary Health*, 5(11), e760-e761. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00287-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00287-4)
- Cedeño-Hidalgo, E. R., Cuenca-Tinoco, A. del C., & Cevallos-Uve, G. E. (2019). Prospectiva en la gestión ambiental: modelo y propuesta de sus indicadores. *Polo del Conocimiento: Revista Científico-Profesional Multidisciplinaria*, 4(2), 347-374. <https://doi.org/10.23857/pc.v4i2.912>
- Center for Disease Control and Prevention. (2022). *Climate effects on health*. <https://www.cdc.gov/climateandhealth/effects/default.htm>
- Cissé, G., McLeman, R., Adams, H., Aldunce, P., Bowen, K., Campbell-Lendrum, D., Clayton, S., Ebi, K. L., Hess, J., Huang, C., Qiyong, L., McGregor, G., Semenza, J., & Tirado, M. C. (2022). Health, wellbeing, and the changing structure of communities. En H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama (Eds.), *Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability* (pp. 1041-1170). Cambridge University Press.
- Cole, R., Hajat, S., Murage, P., Heaviside, C., Macintyre, H., Davies, M., & Wilkinson, P. (2023). The contribution of demographic changes to future heat-related health burdens under climate change scenarios. *Environment International*, 178, 107836. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107836>
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. (2012). *Bases para el desarrollo de indicadores sobre salud y cambio climático en México*.
- Confalonieri U., Menne B., Akhtar R., Ebi K. L., Hauengue M., Kovats R. S., Revich, B., & Woodward, A. (2007). Human health. En M. L. Parry, O.

- F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, & C. E. Hanson (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability* (pp. 391-431). Cambridge University Press.
- Diario Oficial de la Federación (2021). *Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM10 y PM2.5. Valores normados para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633855&fecha=27/10/2021#gsc.tab=0
- Easterbrook, S. M., Edwards, P. N., Balaji, V., & Budich, R. (2011). Guest Editors' Introduction: Climate Change-Science and Software. *IEEE Software*, 28(6), 32-35. <https://doi.org/10.1109/MS.2011.141>
- Ebi, K. L. (2014). Health in the new scenarios for climate change research. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(1), 30-46. <https://doi.org/10.3390/ijerph110100030>
- Ebi, K. L., Vanos, J., Baldwin, J. W., Bell, J. E., Hondula, D. M., Errett, N. A., Hayes, K., Reid, C. E., Saha, S., Spector, J., & Berry, P. (2021). Extreme weather and climate change: population health and health system implications. *Annual Review of Public Health*, 42(1), 293-315. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-012420-105026>
- Gareiou, Z., Gizani, N., Laskari, I., Mavromati, I., & Zervas, E. (2023). Review of personal environmental indicators. *E3S Web of Conferences*, 436, 07005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343607005>
- Gayen, J., & Datta, D. (2023). Application of pressure–state–response approach for developing criteria and indicators of ecological health assessment of wetlands: a multi-temporal study in Ichhamati floodplains, India. *Ecological Processes*, 12(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s13717-023-00447-8>
- Gentry-Shields, J., & Bartram, J. (2014). Human health and the water environment: Using the DPSEEA framework to identify the driving forces of disease. *Science of the Total Environment*, 468-469, 306-314. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.052>

- Gosselin, P., Furgal, C., & Ruiz, A. (2001). *Indicadores básicos de Salud pública ambiental propuestos para la región de la frontera México-Estados Unidos*. Oficina Fronteriza México-EU, Organización Panamericana de la Salud, El Paso.
- Hambling, T., Weinstein, P., & Slaney, D. (2011). A review of frameworks for developing environmental health indicators for climate change and health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(7), 2854-2875. <https://doi.org/10.3390/ijerph8072854>
- Hsu, A., & Zomer, A. (2014). Environmental performance index. *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*, 1-5. <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat03789.pub2>
- Intergovernmental Panel on Climate Change, & Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Analysis. (2007). *General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Version 2* (preparado por T. R. Carter).
- Iwamura, T., Guzman-Holst, A., & Murray, K. A. (2020). Accelerating invasion potential of disease vector *Aedes aegypti* under climate change. *Nature Communications*, 11(1), 2130. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16010-4>
- Kosanic, A., Petzold, J., Martín-López, B., & Razanajatovo, M. (2022). An inclusive future: disabled populations in the context of climate and environmental change. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 55, 101159. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101159>
- Landrigan, P. J. (2017). Air pollution and health. *The Lancet Public Health*, 2(1), e4-e5. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(16\)30023-8](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(16)30023-8)
- Levrel, H., Kerbiriou, C., Couvet, D., & Weber, J. (2009). OECD pressure-state-response indicators for managing biodiversity: a realistic perspective for a French biosphere reserve. *Biodiversity and Conservation*, 18, 1719-1732. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9507-0>
- Li, Y., Yang, W., Shen, X., Yuan, G., & Wang, J. (2019). Water environment management and performance evaluation in central China: A research based on comprehensive evaluation system. *Water*, 11(12), 2472. <https://doi.org/10.3390/w11122472>

- Lindsay, S., Hsu, S., Rangunathan, S., & Lindsay, J. (2022). The impact of climate change related extreme weather events on people with pre-existing disabilities and chronic conditions: a scoping review. *Disability and Rehabilitation*, 25, 1-21. <https://doi.org/10.1080/09638288.2022.2150328>
- Liu, A. Y., Trtanj, J. M., Lipp, E. K., & Balbus, J. M. (2021a). Toward an integrated system of climate change and human health indicators: a conceptual framework. *Climatic Change*, 166(3-4), 49. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03125-w>
- Liu, Y., Hu, W., Wang, S., & Sun, L. (2021b). Eco-environmental effects of urban expansion in Xinjiang and the corresponding mechanisms. *European Journal of Remote Sensing*, 54(supl. 2), 132-144. <https://doi.org/10.1080/22797254.2020.1803768>
- Malekmohammadi, B., & Jahanishakib, F. (2017). Vulnerability assessment of wetland landscape ecosystem services using driver-pressure-state-impact-response (DPSIR) model. *Ecological Indicators*, 82, 293-303. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.060>
- Manteiga, L. (2000). Los indicadores ambientales como instrumento para el desarrollo de la política ambiental y su integración en otras políticas. *Estadística y Medio ambiente* (pp. 75-87). Instituto de Estadística de Andalucía. https://www.miajadas.org/wp-content/uploads/2018/11/Los_indicadores_ambientales_como_instrumento_de_desarrollo.pdf
- Martínez-Gaete, C. (2016). *Índice de desempeño ambiental 2016: contaminación del aire afecta a la mitad de la población global*. Plataforma Urbana. <http://www.plataformaurbana.cl/archive/2016/02/09/indice-de-desempeno-ambiental-2016-contaminacion-del-aire-afecta-a-la-mitad-de-la-poblacion-global/>
- Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., Vuuren, D. P. van, Carter, T. R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G. A., Mitchell, J. F. B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer, R. J., Thomson, A. M., Weyant, J. P., & Wilbanks, T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747-756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>

- Neri, A. C., Dupin, P., & Sánchez, L. E. (2016). A pressure–state–response approach to cumulative impact assessment. *Journal of Cleaner Production*, *126*, 288-298. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.134>
- Ngcamu, B. S. (2023). Climate change effects on vulnerable populations in the Global South: a systematic review. *Natural Hazards*, *118*(2), 977-991. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06070-2>
- O'Neill, B. C., Carter, T. R., Ebi, K., Harrison, P. A., Kemp-Benedict, E., Kok, K., Kriegler, E., Preston, B. L., Riahi, K., Sillmann, J., Ruijven, B. J. van, Vuuren, D. van, Carlisle, D., Conde, C., Fuglestvedt, J., Green, C., Hasegawa, T., Leininger, J., Monteith, S., & Pichs-Madruga, R. (2020). Achievements and needs for the climate change scenario framework. *Nature Climate Change*, *10*(12), 1074-1084. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00952-0>
- Organización Mundial de la Salud. (2021). *Cambio climático*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>
- Organización Panamericana de la Salud, & Organización Mundial de la Salud. (2003). *Portal de Indicadores Básicos. Región de las Américas*. <https://opendata.paho.org/es/indicadores-basicos>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, & Development Group on Environmental Performance (1993). *OECD core set of indicators for environmental performance reviews*.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2023). *Indicadores clave de la OCDE*. <https://www.oecd.org/statistics/indicadores-clave.htm>
- Pandia-Fajardo, E. A. (2016). Modelo presión, estado, respuesta (PER) para la clasificación de indicadores ambientales y gestión de la calidad del agua caso: cuenca del río Puyango Tumbes. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, *19*(37). <https://doi.org/10.15381/iigeo.v19i37.12953>
- Parmesan, C., Morecroft, M. D., Trisurat, Y., Adrian, R., Anshari, G. Z., Arneth, A., Gao, Q., Gonzalez, P., Harris, R., Price, J., Stevens N., & Talukdarr, G. H. (2022). Terrestrial and Freshwater Ecosystems and Their Services. En H. O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösckke, V. Möller,

- A. Okem, & B. Rama (Eds.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability* (pp. 197–377). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.004>
- Polanco, C. (2006). Indicadores ambientales y modelos internacionales para toma de decisiones. *Gestión y Ambiente*, 9(2), 27-41. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/52056>
- Quiroga M. R. (2009). *Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe*. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/5502-guia-metodologica-desarrollar-indicadores-ambientales-desarrollo-sostenible>
- Riojas-Rodríguez, H., Schilmann, A., López-Carrillo, L., & Finkelman, J. (2013). La salud ambiental en México: situación actual y perspectivas futuras. *Salud Pública de México*, 55(6), 638-649. <https://doi.org/10.21149/spm.v55i6.7310>
- Roque, R. J., Beaudoin, C., Ndjaboue, R., Cameron, L., Poirier-Bergeron, L., Poulin-Rheault, R. A., Fallon, C., Tricco, A. C., & Witteman, H. O. (2021). Health effects of climate change: an overview of systematic reviews. *BMJ open*, 11(6), e046333. <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2020-046333>
- Rodrigues, M. (2023). Projections of Cause-Specific Mortality and Demographic Changes under Climate Change in the Lisbon Metropolitan Area: A Modelling Framework. *Atmosphere*, 14(5), 775. <https://doi.org/10.3390/atmos14050775>
- Schrijver, E. de, Sivaraj, S., Raible, C. C., Franco, O. H., Chen, K., & Vicedo-Cabrera, A. M. (2023). Nationwide projections of heat-and cold-related mortality impacts under various climate change and population development scenarios in Switzerland. *Environmental Research Letters*, 18(9), 094010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ace7e1>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). *Marco conceptual*. Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores16/conjuntob/00_conjunto/marco_conceptual2.html

- Singh, A. B., & Kumar, P. (2022). Climate change and allergic diseases: An overview. *Frontiers in Allergy*, 3, 964987. <https://doi.org/10.3389/falgy.2022.964987>
- Song, Z., Sun, Y., Chen, P., & Jia, M. (2022). Assessing the ecosystem health of coastal wetland vegetation (*Suaeda salsa*) using the pressure state response model, a case of the Liao River estuary in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1), 546. <https://doi.org/10.3390/ijerph19010546>
- Thomson, M. C., & Stanberry, L. R. (2022). Climate change and vectorborne diseases. *New England Journal of Medicine*, 387(21), 1969-1978. <https://doi.org/10.1056/NEJMra2200092>
- Vázquez-Valencia, R. A., & García-Almada, R. M. (2018). Indicadores PER y FPEIR para el análisis de la sustentabilidad en el municipio de Cihuatlán, Jalisco, México. *Nóesis: Revista de Ciencias Sociales*, 27(53-1), 1-26. <https://doi.org/10.20983/noesis.2018.3.1>
- Wang, Y. T., Wang, Y.-S., Wu, M.-L., Sun, C.-C., & Gu, J.-D. (2021). Assessing ecological health of mangrove ecosystems along South China Coast by the pressure-state-response (PSR) model. *Ecotoxicology*, 30, 622-631. <https://doi.org/10.1007/s10646-021-02399-1>
- Wolf, M. J., Emerson, J. W., Esty, D. C., De Sherbinin, A., & Wendling, Z. A. (2022). *Environmental Performance Index*. Yale Center for Environmental Law & Policy. <https://epi.yale.edu>
- World Health Organization. (2004). *De la teoría a la práctica: indicadores de salud ambiental infantil Implementación de una iniciativa lanzada en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible*. <https://iris.who.int/handle/10665/43053>
- World Health Organization. (2009). *Protecting health from climate change* (No. WHO/EURO: 2009-4320-44083-62173). Regional Office for Europe. <https://iris.who.int/handle/10665/349970>
- World Health Organization. (2014). *Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241507691>

- World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
- Xue, Y., Wang, L., Zhang, Y., Zhao, Y., & Liu, Y. (2022). Air pollution: A culprit of lung cancer. *Journal of Hazardous Materials*, 434, 128937. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128937>
- Zhang, Q., Yang, L., Peng, J., Wu, L., & Mao, H. (2023). Characteristics, sources, and health risks of inorganic elements in PM_{2.5} and PM₁₀ at Tianjin Binhai international airport. *Environmental Pollution*, 332, 121988. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121988>
- Zhao, Q., Yu, P., Mahendran, R., Huang, W., Gao, Y., Yang, Z., Ye, T., Wen, B., Wu, Y., Li, S., & Guo, Y. (2022). Global climate change and human health: Pathways and possible solutions. *Eco-Environment & Health*, 1(2), 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.eehl.2022.04.004>

La percepción de riesgo y la actitud hacia el cambio climático

Gabriel Dorantes Argandar

Emmanuel Poblete Trujillo

Josimar Evanivaldo Hernández Torres

Hace veinte o treinta años el *statu quo* establecía que los ambientalistas y pregoneros del calentamiento global y del cambio climático debían de ser tratados como alarmistas, exagerados, advenedizos del final del mundo y gente con poco quehacer en general. Hoy en día, el cambio climático y el final del ser humano como la especie predominante en el planeta es una amenaza real que ya pocos se cuestionan. El problema, como en todos los dilemas de la humanidad, es que el entendimiento colectivo del calentamiento global y el cambio climático como una amenaza a la supervivencia de la vida en el planeta han llegado demasiado tarde. Las variaciones en los patrones del clima, la aceleración de los vientos, la intensidad y adelantamiento de la temporada de lluvias constituyen elementos que ahora son visibles y demuestran el desequilibrio que el ser humano ha causado en el sistema global. Sin embargo, aún quedan amenazas que tienen el potencial de ser mucho más devastadoras de lo que el humano, en su ignorancia y arrogancia, ha dejado escapar entre sus dedos. Un buen ejemplo de estas amenazas es la extinción de las abejas en el hemisferio norte, situación que tiene el potencial de terminar con un importante porcentaje de la población mundial y, verdaderamente, poco se dice de ello.

A partir de los años setenta, la humanidad entró en un sobregiro que desafía la biocapacidad del planeta. Actualmente, le toma al planeta un año y seis meses regenerar lo que el ser humano consume en un año (Global Footprint Network, s. f.), lo cual constituye una situación que devendrá en una prevalente carencia de recursos alimenticios y que aparentemente no podrá ser reversible sin una devastadora hambruna de varias décadas. Como dice Michael Cain en

la película *Interstellar*: “los últimos en morir de hambre serán los primeros en morir de asfixia”.

Los problemas ambientales son unos de los temas que demandan atención global y, para los investigadores sociales, brindan un escenario de aplicación de elementos teóricos y experiencias de trabajos empíricos y esfuerzos de la participación ciudadana. Los avances tecnológicos y la creciente instrumentación dentro del ejercicio investigativo ameritan que, después de haber realizado una revisión de la literatura científica sobre la problemática ambiental y con la vinculación y preocupación de la solución a situaciones invisibilizadas o no reconocidas entre la población, es decir, la falta de reconocimiento del agotamiento del agua, carencia de alimentación y cambio climático en general, se aborden las preocupaciones huecas que devienen en políticas públicas que no son de utilidad y que, si resultan serlo, no son blandidas adecuadamente.

De acuerdo con Holahan (2012, p. 21) la psicología ambiental se conceptualiza como “un área de la psicología cuyo foco de investigación es la interrelación del ambiente físico con la conducta y la experiencia humana”. En este sentido, Baldi-López & García-Quiroga (2005) abonan a esta concepción el objeto de estudio: el comportamiento humano y su relación con los diversos problemas y eventos ambientales. Esta área científica aborda el estudio de factores psicológicos como creencias, actitudes, competencias, motivos, conocimientos y la manera en la cual estas variables afectan y son afectadas por la interacción individuo-medio ambiente.

La psicología ambiental, basándose en la conceptualización de su quehacer, ha trabajado como líneas investigativas, las cuales se centran sobre los siguientes aspectos: 1) percepción del medio ambiente, 2) conocimiento y actitudes ambientales, 3) estrés ambiental, 4) urbanismo y territorialidad —como la aglomeración, la privacidad y la territorialidad—, 5) desarrollo sustentable, 6) educación ambiental y 7) psicología de los desastres y resiliencia (Corral-Verdugo, 1998; Fanlo, 2004; Granada, 2001, 2003; Holahan, 2012; Winter & Koger, 2004). Corral-Verdugo & Queiroz-Pinheiro (2004) enfatizan en una “conducta sustentable”, la cual se edifica como un constructo integrador que retoma cinco

dimensiones: “la efectividad, la anticipación (o propensión al futuro), la solidaridad, el altruismo y la austeridad”.

Holahan (2012) reconoce que “la principal función psicológica del conocimiento ambiental es la de capacitar a las personas para que resuelvan los problemas de espacio en su medio ambiente físico cotidiano”. Este mismo autor menciona que los mapas cognoscitivos, entendidos como instrumento de evaluación psicológica del ambiente, también aluden a un aspecto de carácter ideológico, donde convergen los recuerdos, sentimientos y creencias de una persona. El mundo exterior tiene un gran impacto en el individuo desde que este comienza a relacionarse con el contexto que le rodea (personas, grupos, escuela, etc.), el cual, a partir de las exigencias y perspectivas que tengan del mismo individuo, hará que este desarrolle los valores, habilidades y hábitos de conducta (Bronfenbrenner, 1970, citado en Lacassa, 1997). Así, cada individuo va creando su idea y concepción del mundo y, al observar detenidamente, nos damos cuenta de que cada persona puede responder de manera distinta ante una misma situación. Es a través de los sentidos que la información del entorno es recibida. Información que después se transforma en impulsos eléctricos que serán interpretados por el cerebro que, con base en experiencia previa y factores cognitivos, determinará la relevancia de los fenómenos en función de su significancia para el bienestar (Lazarus & Folkman, 1984).

El estudio de la percepción ambiental es una tarea harto difícil. Trata de las investigaciones y de cómo los científicos ambientales se enfrentan a la dificultad de realizar experimentos para estas, ya que muchos de los experimentos de laboratorio tienen resultados sesgados debido a que los ambientes creados no son exactamente iguales a los reales (Holahan, 2012). Consecuentemente, es muy difícil que los resultados de experimentos fuera del laboratorio sean cien por ciento válidos, ya que no pueden tener control total sobre ellos. Sin embargo, esto amplía el reto por poder estudiar los fenómenos psicológicos, realizándose en el entorno natural, lo cual no solo es extremadamente difícil, sino también está sujeto a condiciones éticas de las cuales el investigador ambiental no se puede desprender por nada. ¿Cómo viven los individuos su realidad subjetiva?

Percepción de riesgo

Los ciudadanos de las sociedades industriales de hoy en día están aprendiendo una severa e incómoda lección: los beneficios de la tecnología deben de pagarse no solo con dinero, sino con detrimento al bienestar colectivo de los individuos, incluso con vidas (Fischhoff et al., 2000). Los estudios en materia de gestión de riesgos en el mundo son un tema que, aunque ya no es relativamente nuevo, ha sido tomado con mucho interés por parte de los estudiosos: entre ellos se encuentran las investigaciones de Poortinga & Pidgeon (2005) sobre alimentos genéticamente modificados y de Slovic (2004) sobre la energía nuclear y la relación entre la percepción de riesgo y los afectos, entre muchos otros. Aun así, para poder beneficiarse de los importantes avances en materia de análisis de riesgo logrados durante las últimas tres décadas en países desarrollados, es necesario realizar una serie de estudios que permitan entender las dinámicas locales a través de la experiencia de fenómenos inherentes a contextos determinados (Bronfman, 2005).

Es decir, no es lo mismo un tsunami en Japón (aunado a la fuga de contenido radioactivo de una planta nuclear en una isla del Pacífico) que la erupción de un volcán que se ha visto rodeado por un gasoducto inteligente diseñado para abastecer de gas natural a una planta termoeléctrica, la cual tiene el potencial de devastar el sistema hídrico de toda la región en el sureste del estado de Morelos en México. El propósito de todo este argumento es el de llevar a la atención de las autoridades gestoras las problemáticas legítimas que son las que verdaderamente tienen importancia, las cuales subyacen en las múltiples dimensiones de las percepciones públicas de riesgo y, además, mostrar que estos factores necesitan ser considerados en decisiones de política de riesgo (Slovic, 1999).

Slovic et al. (2000) hacen un fuerte énfasis en la importancia de comunicar efectivamente los análisis realizados en materia de riesgo a las personas que son responsables de la gestión de estos; de lo contrario, la desconfianza, el conflicto y el manejo de riesgo inefectivo emergen, como ha sucedido en todo el mundo en las últimas décadas. Muchos de estos problemas plantean la necesidad de establecer nuevas estrategias para enfrentar este tipo de situaciones, no solo

técnicamente, sino específicamente sobre el factor humano: las personas que se encuentran directamente en riesgo y aquellas que tiene la responsabilidad de tomar las decisiones de las que dependen las vidas de las personas.

Jaeger et al. (2001) definen los tres elementos que distinguen la variada conceptualización del riesgo: 1) el tipo de resultado que resultan del fenómeno percibido (consecuencias no-deseadas); 2) alguna medida de la posibilidad de ocurrencia (probabilidad), y 3) el tipo de entidad afectada (individuo, corporación o institución). De esta manera, el riesgo es evaluado en función de las consecuencias catastróficas que pueden surgir del peligro, qué tan probable es que dichas consecuencias ocurran y a quienes afectarán esas mismas consecuencias. Se entiende como “riesgo” el cálculo que hace un individuo o grupo de individuos sobre la probabilidad de sufrir algún daño, invariablemente de la probabilidad real de que dicho daño realmente ocurra. Es un fenómeno meramente psicológico y no depende de cifras reales o hechos en concreto.

Más aún, existen particularidades cognitivas que afectan los juicios de riesgo. Por ejemplo, un individuo generalmente se juzga a sí mismo como expuesto a menor riesgo que el promedio de un grupo de dos, quien, a su vez, está expuesto a menor riesgo que el promedio de un grupo de tres y así sucesivamente. Kasperson et al. (2000) afirman que el riesgo es definido mediante la multiplicación de la probabilidad psicológica de los eventos por la magnitud de las consecuencias específicas de este. Ellos mismos sostienen que existen otros aspectos del riesgo que afectan la respuesta pública como la voluntariedad, la habilidad personal de influir en el riesgo (o qué tanto control se tiene sobre él), la familiaridad con el riesgo y el potencial catastrófico que el peligro tiene para el individuo. Arellano et al. (2009) conceptualizan la percepción de riesgo como el juicio subjetivo que hacen las personas sobre las características y severidad de un riesgo, principalmente con referencia a peligros naturales y amenazas al medio ambiente y la salud. Esta misma idea es compartida por Slovic (1987) en su investigación sobre la percepción de riesgo, tomando estudios antropológicos y sociológicos en los cuales se había demostrado que la percepción y aceptación de riesgo tienen origen en factores culturales y sociales. La percepción del riesgo depende de un juego de variables a las cuales están sujetas todas las personas

en todos los momentos de sus vidas, y que son en gran medida de naturaleza cognitiva.

Aquellas personas que se encuentran a cargo de ofrecer la información necesaria a los ciudadanos no siempre son tan eficientes haciéndolo como deberían, pero también es verdad que la probabilidad real de un evento catastrófico dado causa interferencia en la efectividad que pueden tener dichas intervenciones (Yamada et al., 2011). En un estudio llevado a cabo en Holanda (Terpstra, 2011), se encontró que la confianza social que los individuos depositan en sus autoridades tiene un efecto reductor en las percepciones de riesgo, pues modera las intenciones de preparación para enfrentar contingencias de desastres que puedan poseer y es, en sí misma, mediadora de la emoción que se evoca en estas circunstancias. Adicionalmente, son diversas las características demográficas involucradas en las percepciones, incluyendo (Smith & McCarthy, 2009): sexo de los individuos, tamaño y estructura de la familia a la que se pertenece (número de adultos, número de niños, número de ancianos), estado de posesión de la vivienda que se habita, pertenecer a una minoría étnica, los años de escolaridad con los que cuenta un individuo y experiencia previa con el fenómeno en cuestión, entre muchos otros. Paralelamente, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2002) hace referencia en cuanto a los riesgos contra la salud y cómo, de la misma manera, han ido evolucionando y, aunque sigue existiendo una gran influencia por parte de científicos, políticos, profesionales y expertos en general, la percepción que se tiene de los riesgos contra la salud será influenciada no solo por lo que pueda mencionar un científico, sino que más bien se verá influida por la opinión de todos los grupos que integren la sociedad en la que esté inmerso dicho individuo.

Catalán-Vázquez (2006), en una investigación sobre la percepción de la contaminación del aire y sus riesgos para la salud, se cuestionó si las decisiones políticas al respecto de las problemáticas ambientales deberían solo considerar la opinión de los científicos y expertos en la materia, sin considerar lo que piensan, perciben y opina la gente al respecto. Es bien sabido que, al momento de aprobar alguna ley, la opinión de los individuos de a pie no es tomada en cuenta, no solo en el aspecto de salud pública, cambio climático, sino en general. Al realizar este tipo de acciones, las propuestas solo son presentadas ante el legislativo para su

revisión en calidad de “expertos” en dicha materia, sin consultarle a la gente si es lo que realmente necesita, pues “ellos saben” lo que es mejor.

Dentro del mismo informe mencionado algunas líneas más arriba, la OMS (2002) también hace referencia a otros factores que pueden influenciar la percepción de determinada situación. La tecnología y los medios de comunicación también tienen una labor influyente en la manera en que se tome la decisión de si alguna situación representa un peligro o no. Aunque muchas veces (sino es que siempre) se le critica a los medios de comunicación masiva (periódicos, revistas, la radio y la televisión), pues suelen dar información parcial o modificada de manera que no afecte a ciertos sectores de la sociedad, sobre todo en el plano político. Si se habla sobre alguna catástrofe causada por algún evento meteorológico, una persona que vive en la zona afectada tendrá una percepción completamente distinta a la de la persona que no vive en la zona afectada y solo se enteró de la catástrofe a través de los medios de comunicación.

Un buen ejemplo de esta situación fue el incendio que se desencadenó en Tepoztlán en abril de 2016, el cual consumió más de las 224 hectáreas de área natural protegida (Brito, 2016). De esta experiencia se pueden extraer tres conclusiones principales: la primera de ellas es que los individuos inmersos en el entorno afectado por una catástrofe son quienes dan forma a la subjetividad del fenómeno a través de su experiencia y su elaboración cognitiva. La segunda es que la comunicación es fundamental para coordinar los esfuerzos de recuperación y resiliencia, sobre todo a través de los diferentes sistemas concéntricos al evento. Finalmente, es evidente que muchos gestores de riesgo son capaces de gestionar el riesgo a través de la imagen y las campañas publicitarias, desatendiendo la problemática en sí, satisfaciéndose con preservar y controlar el flujo de la información. La confianza social es un constructo social clave para la gestión del riesgo y hoy en día ya se ha anulado casi por completo, además que ha sido reemplazada por un fenómeno de control político de la información con el propósito de potenciar la confianza social sin verdaderamente mitigar la vulnerabilidad o el riesgo.

La percepción de riesgos ambientales es una determinante del grado de preparación que los individuos tienen para enfrentar de manera efectiva los peligros

y las catástrofes y, por lo tanto, también de las respuestas inadecuadas que esos individuos puedan dar ante el problema ambiental real (Corral-Verdugo, 2003). Al respecto, Holahan (2012) comenta que una de las principales funciones de la percepción ambiental es dirigir y regular muchas de las actividades que constituyen la vida diaria de las personas, lo cual proporciona la información necesaria para poder afrontar exitosamente las situaciones y condiciones presentadas por el ambiente en el que los individuos se desenvuelven habitualmente.

La diferencia fundamental entre riesgo y peligro es que el riesgo es un cálculo cognitivo y el peligro, una situación determinada. La mente del ser humano evalúa todos los elementos de su entorno que es capaz de percibir, de ellos determina cuáles son los elementos que le significan una potencial pérdida de bienestar y determina si la probabilidad de que esa pérdida verdaderamente ocurra, además de si el impacto que esa pérdida tendrá en su vida será aceptable. El peligro, por otro lado, ocurre sin necesidad de que el individuo evalúe sus probabilidades. Si la crecencia del río se incrementará intempestivamente, afectando a las comunidades aledañas (lo que se conoce como el flash-flooding), lo hará invariablemente del nivel de preparación que tengan los ciudadanos, los científicos y las autoridades. Algo así como el cambio climático: el desequilibrio no necesitó de la percepción del ser humano para llevarse a cabo. Desde 1990 se decía que cuando los efectos del cambio climático fueran visibles, estos serían irreversibles.

Cambio climático

El cambio climático es un fenómeno que se da de manera natural y se ha visto desde hace muchos años. Fue a partir de la década de los años cincuenta que se comenzó a hablar sobre los efectos del calentamiento global y su repercusión a largo plazo, así como de la participación humana en su proceso, pues el cambio climático y la crisis ambiental son, indudablemente, de naturaleza antropogénica (Chacón Cansino & Postigo, 2013). A partir de la revolución industrial, donde la actividad humana se acrecentó, se cimentó el camino para la industria contemporánea, que es el gran generador del cambio climático global (Steffen et al., 2005, citado en Chacón Cansino & Postigo, 2013).

“El acelerado proceso de urbanización que México experimentó en la última mitad del siglo veinte no permitió que la política urbana dotara al mismo ritmo de empleos y de servicios públicos (vivienda, drenaje, agua entubada, etc.) a la población urbana” (Aguilar, 2004), de tal manera que algunas personas se vieron orilladas a tomar acciones que van en contra de su integridad física y atentan contra su salud, con el fin de preservar el poco bienestar que han acumulado: así vemos a personas trabajando en la recolección de basura, personas que viven debajo de puentes y a familias de media docena de integrantes sobre una motocicleta; incluso algunas medidas tomadas por determinadas personas por no encontrar un trabajo, además del alto costo del arrendamiento y los devastadores efectos de la gentrificación, han tenido un efecto devastador en la manera en la que el individuo comprende su entorno y actúa correspondientemente a él.

Mencionan Dorantes-Argandar et al. (2014) que países como México deben observar que la pobreza extrema obliga a personas a residir en zonas que incluso no están disponibles para la venta debido a su alto nivel de riesgo. Al pretender darle solución desde una oficina, detrás de un escritorio, los resultados obtenidos siempre son contrarios a lo que se manifiesta que era la intención original, pues la mayoría de las políticas públicas diseñadas para elevar la calidad de vida de los individuos económicamente desaventajados no cumplen con su propósito de paliar las problemáticas que precisamente los llevan a una integración deficiente con la sociedad (Roizblatt et al., s. f.). Poco sorprendentemente, pasa lo mismo con los programas y las legislaciones que tratan asuntos relacionados con el cambio climático, contaminación o el medio ambiente: se pretenden dar soluciones desde detrás de un escritorio. Esto, a consideración de los autores, no pretende siquiera encontrar una solución mínimamente viable a la problemática real.

La vida misma depende de la interconexión entre los individuos y su entorno, y construye las relaciones de pares, familiares, comunitarias y sociales (Koger & Winter, 2010). Las interacciones entre los individuos y los diferentes elementos del entorno permiten generar una dinámica vital sobre la cual se monta el bienestar subjetivo. Bronfenbrenner (1986) afirma que la comprensión de los diferentes factores que están involucrados en el estrés en un

contexto particular es de máximo beneficio para la comprensión del bienestar de los individuos, especialmente cuando se busca comprender el impacto que tiene el contexto en la experiencia de la percepción del estrés mismo, así como el efecto que tiene en el desarrollo psicosocial. Por lo tanto, el entender cómo es que los elementos del entorno afectan la calidad de vida de los individuos es primordial en determinar el bienestar en general de los grupos, además de cómo es que las reducciones al bienestar colectivo, ya sean reales, en potencia o solamente percibidas, pueden afectar las interacciones entre los individuos.

Causa y efecto

La aceptación misma por parte de los representantes gubernamentales de la falta de transparencia en la estadística del manejo de la energía, la transmisión de información referente al final de la producción petrolera a través de los medios masivos de información y la migración de posturas y tácticas gubernamentales hacia una “seguridad energética” demuestran que el futuro del ser humano como especie es predecible hasta el 2030, cuando muy lejos (Ruppert, 2012). Hemos llegado al punto en el que las soluciones tecnológicas extravagantes (y mejor categorizadas como pertenecientes al género de la ciencia ficción) se vuelven más viables en mira a resolver la debacle climatológica y energética de la humanidad, cuando uno las compara con la modificación de las disposiciones y comportamientos del ser humano (Heberlein, 2010).

Si uno toma en cuenta que la potencia supuestamente más predominante del mundo es víctima de su propio sistema político que de por sí ya muestra evidencia de podredumbre y corrupción, cuya economía depende principalmente de tributos pecuniarios y materiales que no puede esperar recibir permanentemente, y cuyo motor económico principal es un aparato militar que se vuelve menos imponente precisamente debido a los dos factores antes mencionados, podemos augurar un cambio importante en la estructura política, económica y social del mundo dentro de los próximos veinte años (Greer, 2014). El orden mundial está llegando a un punto de quiebre del que no será posible regresar, pues solo es

preciso observar los conflictos erguidos en Ucrania, Israel-Palestina y el Medio Oriente en general, la Tercera Guerra Mundial está a punto de desatarse.

Aparentemente solo quedan tres opciones disponibles para abordar el futuro de la humanidad (Greer, 2010): convencer a la clase política de tomar las acciones necesarias para transitar a una sociedad que no dependa enteramente de los combustibles fósiles como pilar principal de su *modus vivendi*, prepararnos para un apocalipsis donde habrá que luchar por la supervivencia todos los días o almacenar bienes en un refugio alejado de la sociedad para evadir las dificultades de la transición. Las actitudes ambientales son mucho más que eso: son el entendimiento que el ser humano tiene, como individuo, del impacto que su vida diaria incide sobre el entorno y viceversa. Esto no solo define su estilo de vida, sino también la estructura de su círculo social y, por ende, el impacto que su vida tiene de vuelta en el entorno y las consecuencias que tendrá a mediano y largo plazo. ¿Cómo funciona este fenómeno? Para entenderlo solo hay que tomar en cuenta tres variables principales: el consumo de combustibles fósiles (que en el caso del individuo de a pie se reduce a gasolina y gas natural), el consumo de agua potable y la producción de desperdicio en general (sólido, líquido, gaseoso, reciclable, biodegradable, radioactivo, químico, etc.).

Básicamente, los factores psicosociales que determinan quiénes somos y cómo nos comportamos estipulan la cantidad de basura que generamos y el impacto a largo plazo que tenemos en nuestro entorno. Si se impusiera (y se lograra que los individuos la respetaran) una norma de que ningún automóvil en ninguna vía fuera capaz de circular por encima de los 70 km/h, el impacto económico, social y ambiental sería de beneficio inmediato (Ruppert, 2009): el ahorro en consumo de combustibles fósiles y su subsecuente efecto en la emisión de gases de efecto invernadero se vería reducido al día siguiente de que dicha norma entrara en efecto. Esto impactaría en la dinámica económica del mundo, teniendo un efecto estabilizador en la volatilidad del mercado del petróleo que no ha tenido precedente. Finalmente, el número de accidentes de tránsito se vería reducido en un 20 % o 25 %, especialmente en los lugares donde no se respeta el límite de velocidad en absoluto, lo cual se vería reflejado en la calidad de vida de los individuos casi de manera inmediata.

Es por esta razón que la actitud que el ser humano tiene hacia su entorno es tan importante, porque su presente determina grandemente su futuro. En virtud de que las actitudes se viven principalmente a través de su contenido (Heberlein, 2010), la provisión de información relevante al tema es insuficiente como método de promoción de un estilo de vida supuestamente sustentable, pues son esos factores psicosociales que funcionan en contra de siquiera la percepción de las consecuencias de los actos que un individuo determinado realiza (Koger & Winter, 2010). Decirle a la gente que deje de contaminar, consumir combustibles fósiles y migrar a la vida sustentable no sirve de nada.

Una actitud basada en ideas sencillas y poco numerosas (como la máxima “la pizza es buena”) tienen una estructura más vertical. Su impacto en la vida del individuo puede ser más intenso, pero su modificación o intercambio por una actitud diferente (como decir “el sushi es bueno también”) no requiere de mucho esfuerzo. Las actitudes que los seres humanos tienen hacia el entorno dependen de una elaboración muy superior a los ejemplos antes usados. El entorno significa para el individuo protección, seguridad, estabilidad; hace quinientos años a la gente se le mataba por siquiera sugerir que la Tierra fuera otra cosa que plana y que el sol y la luna giraban alrededor de nuestro planeta. Lo anterior, debido a que estas ideas partían de construcciones religiosas de gran importancia para el sustento político de aquel tiempo. Esto hacía que los individuos asociaran aspectos como la seguridad, la afiliación o la pertenencia al grupo a una idea, lo cual componía una actitud más horizontal que con gran nivel de dificultad se pudo cambiar.

Entonces, se pagó con miles de vidas por una actitud y, cinco siglos en el futuro, volveremos a pagar con vidas la incapacidad de cambiar actitudes relevantes al petróleo y a la provisión de energía. El final de la era del petróleo se acerca y aquellas cosas que hagamos para poder mantener el estilo de vida que este proveyó por más de un siglo determinará no solo cuándo llegue ese día, sino también de cómo viviremos la transición y cuánta infraestructura útil permanecerá para abastecer a la sociedad (Greer, 2010). El ser humano debe desvincularse del estilo de vida que ha llevado los últimos cien años. Es preciso cuestionar incluso el apego que se tiene a los horarios de trabajo y cómo se estructura el

uso de energía en función de la demanda social: en esencia, todas las plantas de energía del mundo producen energía que se desperdicia en una tercera parte debido a que la gente duerme por la noche (Ruppert, 2012). Tal vez valdría la pena incluso cuestionar la estructura del horario humano, en virtud de que ya no tiene sentido mantenerlo como tal y modificarlo permitiría maximizar la capacidad de productividad, así como asegurar que la energía no se desperdicie.

No todos sobrevivirán al colapso del sistema económico. Aquellos que no puedan desprenderse de sus actitudes pasarán el resto de sus días esperando un evento que les devuelva al *statu quo* de antaño, mientras sus vidas y la de sus grupos son consumidas por el abuso de sustancias, la inestabilidad mental y el suicidio (Greer, 2014). Así de poderosas son las actitudes ambientales.

Referencias

- Aguilar, A. G. (2004). Los asentamientos humanos y el cambio climático global. En J. Martínez & A. Fernández (Coords.), *Cambio climático: una visión desde México. Sección III. Impactos, vulnerabilidad y adaptación* (pp. 267-278). Instituto Nacional de Ecología.
- Arellano, E., Camarena, L., Glascoe, C. von, & Daesslé, W. (2009) Percepción del riesgo en salud por exposición a mezclas de contaminantes: el caso de los valles agrícolas de Mexicali y San Quintín, Baja California, México. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 27(3), 291-301.
- Baldi-López, G., & García-Quiroga, E. (2005). Calidad de vida y medio ambiente. La psicología ambiental. *Universidades*, (30), 9-16.
- Brito, J. L. (2016, 7 de abril). Incendio arrasa 224 hectáreas del bosque y selva en Tepoztlán. *Proceso*. <http://www.proceso.com.mx/436311/incendio-arrasa-224-hectareas-bosque-selva-en-tepoztlan>
- Bronfenbrenner, U. (1986). Ecology of the family as a context for human development: Research perspectives. *Developmental Psychology*, 22(6), 723-742. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.22.6.723>
- Bronfman, N. (2005). *Perception and Acceptability of Technological and Environmental Hazards in Chile*. Pontificia Universidad Católica de Chile.

- Catalán-Vázquez, M. (2006). Estudio de la percepción pública de la contaminación del aire y sus riesgos para la salud: perspectivas teóricas y metodológicas. *Revista del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias*, 19(1), 28-37.
- Chacón Cansino, P., & Postigo, J. C. (2013). Cambio climático: riesgo o comunidad en la crisis ambiental. En J. C. Postigo (Ed.), *Cambio climático, movimientos sociales y políticas públicas: una vinculación necesaria* (pp. 125-146). Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales.
- Corral-Verdugo, V. (2006). Contribuciones del análisis de la conducta a la investigación del comportamiento pro-ecológico. *Revista Mexicana de Análisis de la Conducta*, 32(2): 111-127. <https://doi.org/10.5514/rmac.v32.i2.23270>
- Dorantes-Argandar, G., Sánchez-Salinas, E., & Ortiz-Hernández, M. L. (2014). Percepción ambiental: Herramienta de análisis de la realidad. En E. Sánchez-Salinas, M. L. Ortiz-Hernández, & M. L. Castrejón-Godínez (Eds.), *Contaminación urbana del aire: Aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y sociales*. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Fanlo, E. (2004). Educación para el desarrollo sostenible. En P. Álvarez, I. Ayo, E. Baranda, E. Bigas, R. Carol & Equipo de la escuela infantil (Eds.), *Educación Ambiental. Propuestas para trabajar en el aula* (pp. 25-30). Editorial Laboratorio Educativo.
- Fischhoff, B., Slovic, P., Lichtenstein, S., Read, S., & Combs, B. (2000). How safe is Safe Enough? A Psychometric Study of Attitudes Towards Technological Risks and Benefits. En P. Slovic (Ed.), *The Perception of Risk* (pp. 80-103). Earthscan Publications.
- Gillespie, T. R., Chapman, C. A., & Greiner, E. C. (2005). Effects of logging on gastrointestinal parasite infections and infection risk in African primates. *Journal of Applied Ecology*, 42(4), 699-707. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01049.x>
- Global Footprint Network. (S. f.). *Ecological Footprint*. http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/footprint_basics_overview/
- Granada, H. (2001). El ambiente social. *Investigación y Desarrollo*, 9(1), 388-407.
- Granada, H. (2003). La cultura como estrategia de adaptación en la interacción sujeto social-ambiente. *Investigación y Desarrollo*, 11(1), 134-161.

- Greer, J. M. (2010). *The Long Descent*. New Society Publishers.
- Greer, J. M. (2014). *Decline and Fall. The End of Empire and the Future of Democracy in 21st Century America*. New Society Publishers.
- Heberlein, T. A. (2010). *Navigating environmental attitudes*. Oxford University Press.
- Holahan, C. J. (2012). *Psicología ambiental. Un enfoque general*. Limusa.
- Jaeger, C., Renn, O., Rosa, E., & Webler, T. (2001). *Risk, Uncertainty, and Rational Action*. Earthscan Publications.
- Kasperson, R., Renn, O., Slovic, P., Brown, H., Emel, J., Goble, R., Kasperson, J., & Ratick, S. (2000). The Social Amplification of Risk: A Conceptual Framework. En P. Slovic. (Ed.), *The Perception of Risk* (pp. 232-245). Earthscan Publications.
- Koger, S. M., & Winter, D. D. N. (2010). *The Psychology of Environmental Problems* (3.ª ed.). Psychology Press.
- Lacasa, P. (1997). *Familias y escuelas. Caminos de la orientación educativa*. Antonio Machado Libros.
- Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). *Stress, Appraisal, and Coping*. Springer publishing company.
- Organización Mundial de la Salud. (2002). *Percepción de riesgos: Informe sobre la salud del mundo*.
- Pacifici, M., Foden, W. B., Visconti, P., Watson, J. E., Butchart, S. H., Kovacs, K. M., Brett R. Scheffers, Hole, G. H., Martin, T. G., Akçakaya, H. R., Corlett, R. T., Huntley, B., Bickford, D., Carr, J. A., Hoffmann, A. A., Midgley, G. F., Pearce-Kelly, P., Pearson, R. G., Williams, S. E., Willis, S. G., Young, B., & Rondinini, C. (2015). Assessing species vulnerability to climate change. *Nature Climate Change*, 5(3), 215-224. <https://doi.org/10.1038/nclimate2448>
- Poortinga, W., & Pidgeon, N. (2005). Trust in Risk Regulation: Cause or Consequence of the Acceptability of GM Food? *Risk Analysis*, 25(1), 199-209. <https://doi.org/10.1111/j.0272-4332.2005.00579.x>
- Reyes, B. (2003). Reseña de “Nuestra huella ecológica: reduciendo el impacto humano sobre la Tierra” de Mathis Wackernagel y William Rees. *Polis: Revista de la Universidad Bolivariana*, 1(4).

- Roizblatt, A., Corón Pak, M., Verdugo-Alarcón, R., Erazo-Leiva, C., & Miño-Orellana, V. (S. f.). Familia, vivienda y medio ambiente: algunos aspectos psicosociales. *Revista Latinoamericana de Psiquiatría*, 31-35.
- Ruppert, M. C. (2009). *Confronting Collapse. The Crisis of Energy and Money in a Post Peak Oil World*. Chelsea Green Publishing.
- Ruppert, M. C. (2012). *Crossing the Rubicon. The Decline of the American Empire at the end of the Age of Oil*. New Society Publishers.
- Slovic, P. (1987). Perception of Risk. *Science*, 236(4799), 280-285. <https://doi.org/10.1126/science.3563507>
- Slovic, P. (1999). Trust, Emotion, Sex, Politics, and Science: Surveying the Risk-Assessment Battlefield. *Risk Analysis*, 19(4), 689-701. <https://doi.org/10.1023/a:1007041821623>
- Slovic, P. (2004). What's Fear Got to Do with it. It's Affect We Need to Worry About. *Missouri Law Review*, 69(4), 5. <https://scholarship.law.missouri.edu/mlr/vol69/iss4/5>
- Slovic, P., Fischhoff, B., & Lichtenstein, S. (2000). Rating the Risks. En P. Slovic (Ed.), *The Perception of Risk* (pp. 104-120). Earthscan Publications.
- Smith, S. K., & McCarthy, C. (2009). Fleeing the Storm(s): an Examination of Evacuation Behavior during Florida's 2004 Hurricane Season. *Demography*, 46(1), 127-145. <https://doi.org/10.1353%2Fdem.0.0048>
- Steffen, W., Sanderson, R. A., Tyson, P. D., Jäger, J., Matson, P. A., Moore III, B., ... & Wasson, R. J. (2005). *Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure*. Springer Science & Business Media.
- Terpstra, T. (2011). Emotions, Trust, and Perceived Risk: Affective and Cognitive Routes to Flood Preparedness Behavior. *Risk Analysis*, 31(10), 1658-1677. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2011.01616.x>
- Winter, D. D. N., & Koger, S. M. (2004). *The Psychology of Environmental Problems* (1.ª ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Yamada, F., Kakimoto, R., Yamamoto, M., Fujimi, T., & Tanaka, N. (2011). Implementation of community flood risk communication in Kumamoto, Japan. *Journal of Advanced Transportation*, 45(2), 117-128. <https://doi.org/10.1002/atr.119>

Educación ambiental, ¿una estrategia para hacer frente al cambio climático?

Mónica Ramírez López

No podemos dejar de reconocer la paradoja de nunca haber visto tanto debate sobre la problemática ambiental y, al mismo tiempo, estar presenciando la mayor devastación del planeta desde los años 70.

(Porto-Gonçalves, 2004, p. 140)

El 4 de noviembre de 2016 Francia estaba de fiesta, sus monumentos icónicos eran alumbrados de verde en conmemoración de la entrada en vigor del Acuerdo de París, un texto que compromete a los países firmantes a desarrollar una serie de políticas públicas con el objetivo de reducir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) a fin de limitar el aumento de la temperatura global por debajo de los 2 °C e incluso lograr, en el largo plazo, la neutralidad global del carbono y de esta forma hacer frente al cambio climático que representaba, en palabras de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2015, p. 1), “una amenaza apremiante y con efectos potencialmente irreversibles para las sociedades humanas y el planeta”.

Parecería que por primera vez los países se reunieran a buscar soluciones ante el problema del cambio climático; sin embargo, atrás de este acuerdo hubo veintiún reuniones internacionales que no pasaron de ser buenas intenciones. Para confirmar lo anterior, baste ver los resultados de la 22.^a Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Clima (COP22) celebrada unos días después del pomposo día¹ y cuyo objetivo era pactar el cómo se habría de lograr lo firmado en París, pero que terminó sin acuerdos concluyentes ni definitivos (ONU, 2016).

Como expresó Duncan, “el cambio climático es el problema político más complicado al que se ha enfrentado el mundo. Es el dilema del prisionero, un

1 Se celebró en Marrakech, Marruecos, del 7 al 18 de noviembre de 2016.

problema de *free-rider* y la tragedia de los comunes, todo en uno” (2009, p. 2). Ante esta dificultad política la respuesta está en manos del resto de la población y es ahí donde la educación ambiental (EA) debe entrar en acción, pero ¿no es eso lo que ha hecho desde mediados del siglo XX? Entonces, ¿por qué no hay resultados?

El propósito de este texto es hacer un breve recorrido por la historia de la EA para identificar si constituye una estrategia viable para hacer frente al cambio climático y, de ser así, notar qué es lo que falta por hacer y hacia dónde deben estar encaminados los esfuerzos de los facilitadores de información y conocimiento, de las autoridades, de las instancias educativas y de los medios masivos de comunicación para incidir en la sociedad en su conjunto a fin de que cada uno asuma la parte de responsabilidad que le corresponde en esta problemática.

* * *

Si bien desde las primeras décadas del siglo XIX se comenzó a discutir, en el ámbito científico, sobre los efectos que tendría en un futuro “distante” la constante emisión de gases derivados del consumo de combustibles fósiles a la atmósfera, no sería una preocupación sentida sino hasta los años cincuenta del siglo XX, cuando la era tecnológica hizo su aparición y con ello se pudo comprobar que existía un calentamiento acelerado del planeta, además que los efectos esperados a largo plazo ya eran una realidad (Le Treut et al., 2007; Riechmann, 2014, 2016).

Sin embargo, pasarán veinte años para que la ONU formara el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con la intención de abordar una serie de cuestiones ambientales entre las que estaba el cambio climático. Así, se estableció, en el Principio 19, la importancia de la educación para lograr una sociedad bien informada sobre el tema y un cambio de conducta más responsable (Sierra Macarrón, 2012; Toro Calderón & Lowy Cerón, 2005). Desde entonces la EA hizo su aparición oficial en el ámbito internacional.

Muchas reuniones, pocos resultados

De forma simultánea al nacimiento de la EA se puso en marcha el modelo económico neoliberal que exagera la producción en serie, el consumismo y el individualismo; asimismo, estimula una apertura económica, el adelgazamiento de las barreras arancelarias y no arancelarias entre las naciones y los flujos de comercio, inversiones y desechos (Barbetta et al., 2018; Bauman, 2013; Palley, 2007), es importante mencionarlo, pues las ideas que este enarbola inciden en los resultados de la educación en general y, por ende, en la EA. De hecho, en la Recomendación 96 de la Conferencia sobre el medio ambiente humano de Estocolmo celebrada en 1975, se pidió que la EA estuviera basada y vinculada con los principios básicos del Nuevo orden económico internacional (NOEI)² definidos por la ONU (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 1975).

Desde sus orígenes, los organismos internacionales buscaron que la humanidad mejorara su relación con la naturaleza, pero sin modificar el modelo económico; por ello, en la EA permearon “dos tradiciones epistemológicas y académicas complementarias: una científica, vinculada al conductismo... y otra personalista e individualista” (Caride & Maira, 2001, p. 209). La estrategia educativa se centró en una idea conservacionista y proteccionista de los “recursos” naturales bajo el argumento de que las personas dañan el medio ambiente por ignorancia o indiferencia hacia la naturaleza; los mensajes se dirigieron a mostrarle a la sociedad lo que perderían si no actuaban, pero desgraciadamente también se emitía información exacerbando el consumo, lo que implica, en su proceso, el uso irresponsable de recursos. Este contrasentido alojado en la sementa de la EA constituirá hasta la actualidad su talón de Aquiles como se leerá párrafos adelante.

² A grandes rasgos el NOEI tiene los siguientes principios: eliminar las barreras que impedían el movimiento de manufacturas, materias primas y productos entre las naciones, incentivando el comercio internacional; estabilizar los precios de los productos de consumo y los ingresos a partir de la exportación; lograr un movimiento mayor de capitales e incentivar y permitir el acceso a las tecnologías, entre otros (Doderó 1979).

Al finalizar el año 1976 se identificó, en un periodo de apenas seis años, un incremento en las emisiones totales de gases de efecto invernadero (kt de CO₂ equivalente) del 9.5 % (Banco Mundial, 2016c); mientras, en el ámbito académico, se discutía la efectividad de la EA como se había planteado originalmente; entonces se pugnó por capacitar para esa acción que años atrás se había propuesto (Breiting, 1997; Caride & Maira, 2001; Gutiérrez, 1995; Tilbury, 1995;) y eliminar el memorismo y el enciclopedismo de la forma de enseñar (Gowin, 1981).

Para lograr lo anterior era necesario que la naturaleza dejara de ser vista como una proveedora ilimitada de recursos y se transformara en el ambiente que, de forma sistémica, le permite al ser humano vivir (Novo, 1988), haciendo consciente y responsable a cada individuo de los problemas ambientales (Benegas & Marcén, 1995); también era menester dotar a la población de habilidades técnicas en la prevención y solución de dichos problemas y modificar la estrategia de aprendizaje haciéndola más activa y participativa.

Estas ideas fueron aceptadas en la I Conferencia Internacional sobre Educación Ambiental, ocurrida en Tbilisi, y se acordó con los gobiernos la inclusión de la EA en sus políticas de educación (UNESCO, 1980; Zabala & García, 2008). No obstante, realizar esto no era sencillo, pues habría que considerar las condiciones sociales, políticas y económicas de cada uno de los países que se sumaron a la tarea. Por ejemplo, en América Latina había debates sobre la imposibilidad de homologar las estrategias, la urgencia de tomar en cuenta las particularidades de cada nación e incluso la necesidad de luchar contra la educación hegemónica propuesta por la ONU bajo un contexto de formalismo educativo limitado a dar conceptos y definiciones sobre la naturaleza, constantes crisis económicas y el incremento de la pobreza.³

La realidad es que la EA se centró en debates políticos, pero poco se logró en la transformación de los planes y programas educativos. Quizá el cambio más relevante fue la inclusión de paseos y salidas de los estudiantes para convivir con la naturaleza. Así, en 1982 nuevamente pudo constatarse que se incrementaron las

³ Para profundizar este tema se recomienda el trabajo de Gaudiano (2001), Medeiros & Heemann (2002), Weil (1990) y Crema (1989).

emisiones totales de GEI (kt de CO₂ equivalente) en 13.4 % tan solo en el periodo comprendido de 1976 a 1982 (Banco Mundial, 2016c). Estos datos provocaron una redirección sobre la causa de los problemas medioambientales y se mencionó, por primera vez, el exceso de consumo, el acaparamiento de recursos y el desperdicio de estos como causales importantes del deterioro ambiental (ONU, 1982).

En atención a que estos ítems contravienen la dinámica natural del capitalismo neoliberal y los principios establecidos en el NOEI, las estrategias de EA se focalizaron en instruir a las personas sobre no desperdiciar, recoger la basura, colocarla en los lugares apropiados y se comenzó a motivar hacia el reciclaje. Esta dirección causó dos problemas: *a)* si bien comenzaron a ser incluidas las dimensiones económicas y socioculturales en el debate de la conservación y protección del medio ambiente, es una realidad que los asuntos nodales que provocan el incremento de la emisión de GEI quedaron minimizados, y *b)* se negaron los componentes culturales y simbólicos de la basura de suerte tal que, en una sociedad consumista, se comenzó a estigmatizar al reciclador como paria social por ser un “consumidor fallido”⁴ aspecto que, hasta la fecha, dificulta la enseñanza sobre el reciclaje en muchas sociedades como es el caso de México.

En 1987 se realizó en Moscú el Congreso Internacional sobre Educación y Formación Ambiental y se reiteró, nuevamente, sobre la importancia de informar a la sociedad sobre los problemas ambientales, educar para la acción, la modificación de los programas y planes educativos, etcétera; sin embargo, se consideró la especialización como una alternativa para lograr cambios (Muñoz Oraá, 1994). La formación de personal especializado en EA tanto para su impartición como para la investigación se convirtió en una prioridad, por lo que se tomó la decisión de hacer modificaciones legislativas a fin de “definir los grandes campos de acción y a incorporarla en los programas de formación de los educadores en todos los sectores y niveles” (Febres-Cordero & Floriani, 2003, p. 2).

4 Definido por Bauman (2013) como aquel ciudadano que no participa activamente en la economía capitalista consumista, no comparte sus valores y se sustrae de hacer que otros tengan satisfacción de vender.

Pero mientras se negociaba la modificación del currículo y legislaciones y se especializaba al personal, el comportamiento social con relación a la disminución de GEI permaneció casi sin cambios. Por lo que al comenzar la última década del siglo XX la preocupación por el cambio climático iba en aumento. En 1988 se formó el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) y en 1989 el lema para el Día Mundial del Medio Ambiente fue “Alerta mundial, la tierra se calienta”, pero todas estas reuniones no pudieron evitar que para 1990 las estadísticas ambientales reportaran que de 1970 a 1990 hubo un incremento en las emisiones de CO₂ (kt) en 51.1 %, metano (kt de equivalente de CO₂) 25.7 % y el óxido nitroso (miles de toneladas métricas de equivalente de CO₂) 32.7 % (Banco Mundial, 2016c), lo que hizo indiscutible que ni las políticas internacionales medioambientales ni la EA estaban consiguiendo los objetivos planteados.

Frente a ese panorama se acordó en diversas reuniones⁵ que la EA “debía revisarse y redefinirse a la luz de la complejidad de los problemas ambientales y de los paradigmas emergentes” (Febres-Cordero & Floriani, 2003, p. 142) y debía contener las siguientes líneas de acción: “información, investigación y experimentación de contenidos y métodos, formación de personal y cooperación regional e internacional, todo ello concebido como un todo y no como acciones aisladas” (González Muñoz, 2001, p. 19); se trataba de un enfoque hacia el desarrollo sostenible que considera la pobreza como una de las principales causas para la degradación del medio ambiente (ONU, 1987; ULSE, 1990).

Al comenzar el siglo XXI se hizo evidente que el desarrollo económico bajo el modelo capitalista globalizado pone en riesgo la permanencia de la especie humana por el agotamiento de los recursos naturales y la degradación ambiental, e incluso provoca un retroceso en los logros ambientales aportados por las entonces nuevas tecnologías limpias (Terrón Amigón, 2000). En materia de cambio climático se identificó que las emisiones totales de GEI, tan solo en el

⁵ Reuniones como la Declaración de Talloires (University Leaders for a Sustainable Future [ULSF], 1990), Cumbre para la Tierra Río de Janeiro (ONU, 1992), Foro Global Ciudadano (Foro Global Ciudadano, 1992), entre otros.

año 2000, fueron de 53 526 303 (kt de CO₂ equivalente), lo que representó un incremento del 46.6 % con relación a las registradas en 1970 (Banco Mundial, 2016c) y se argumentó que:

El cambio climático es un problema con características únicas. Es global, a largo plazo, e implica complejas interacciones entre procesos climáticos, ambientales, económicos, políticos, institucionales, sociales y tecnológicos. Esto podría tener significativas implicaciones internacionales e intergeneracionales a la hora de abordar ambiciosos objetivos sociales como la equidad o el desarrollo sostenible. Desarrollar una respuesta al cambio climático implica la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre y riesgo, incluyendo la posibilidad de que sucedan cambios no-lineales o irreversibles (IPCC Working Group III, 2001, p. 58).

Además, se mencionó que era “preciso modificar las actuales pautas insostenibles de producción y consumo en interés de nuestro bienestar futuro y en el de nuestros descendientes” (ONU, 2000, p. 2). A pesar de lo anterior, las estrategias en materia de EA se limitaron a buscar una “educación para todos” donde se fortalecieran valores como la libertad, igualdad, solidaridad, tolerancia, responsabilidad común y respeto a la naturaleza, aun cuando se deja ver la importancia de modificar el estilo de vida altamente consumista y de sobreproducción.

Por otro lado, aunque sin abandonar el statu quo, en la Reunión Internacional de Expertos en Educación Ambiental: Nuevas Propuestas para la Acción celebrada en Santiago de Compostela (2000) se llegaron a algunos acuerdos muy importantes para darle un giro a la EA: *a*) promover los cambios necesarios para reconstruir las relaciones quebradas entre seres humanos-sociedades y seres humanos-naturaleza; *b*) la complejidad inherente al proceso de globalización contribuye a ocultar y hacer incomprensible el papel que los individuos, las comunidades y las sociedades juegan en la generación de la problemática socio-ambiental, y *c*) la homogeneización está simplificando la diversidad cultural y generalizando estilos de vida insostenibles, para defender y favorecer la diversidad cultural no se puede generalizar a los individuos ni a los

pueblos y, por ende, se debe emplear un repertorio de estrategias y modelos pedagógicos para el proceso de enseñanza. Los puntos anteriores han permeado los proyectos de EA, aunque a pasos lentos.

Nuevamente en 2007, los reportes sobre el cambio climático eran poco alentadores, la IPCC expresó: “hay evidencia observada en todos los continentes y la mayoría de los océanos muestran que muchos sistemas naturales están siendo afectados por cambios climáticos regionales, particularmente en aumentos de temperatura” (IPCC, 2007, p. 8) causados principalmente “por el incremento en las emisión de gases con efecto invernadero, la desaparición de amplias áreas boscosas y la insuficiente tasa de absorción de carbono y de otros contaminantes por parte de biomas terrestres y costeros agotados” (IPCC Working Group II, 2007, p. 9).

Pero esta vez las palabras trascendían los foros. La población en general era testigo del aumento de desastres por inundaciones, incremento en los casos de sequía, desertificaciones, presencia de fenómenos meteorológicos extremos que estaban agravando los problemas existentes de pobreza, producción, salud e incluso conflictos por tierras y agua (Bangay & Blum, 2010), dando la sensación, por primera vez, de estar en una situación de vulnerabilidad. Entonces se fortalecieron los argumentos sobre una sociedad en riesgo (Beck, 2003, 1998) que se tenía que enfrentar a la consecuencia de la modernidad, en palabras de Porto-Gonçalves, “sufrimos, reflexivamente, los efectos de nuestra propia intervención, la que se provoca por medio del poderoso sistema técnico del que disponemos ahora. Ya no es contra la naturaleza que debemos luchar (si es que es de lucha contra la naturaleza de lo que debemos tratar) si no contra los efectos de la intervención que el propio sistema técnico provoca” (2004, p. 26). Lamentablemente, el modelo económico no fue tocado y en su lugar se determinó la importancia de la educación para la adaptación; es decir, enseñarle a la población a reconocer de antemano las amenazas y a estar equipada para responder a ella, pero también aprender a vivir con los cambios (International Council on Human Rights Polic, 2008).

Además, hubo acciones para garantizar y crear mejores ambientes de aprendizaje, como que se buscara “reducir el impacto ambiental en términos de los

materiales utilizados (por ejemplo, minimizar el uso de ladrillos cocidos y azulejos en la construcción, la utilización de aparatos de cocción más eficiente de energía), y [procurando] niveles de iluminación natural, saneamiento instalaciones, la reducción de ruido de impacto lluvia” (Bangay & Blum, 2010, p. 12).

La preocupación se enfocó entonces en anticipar las condiciones devastadoras del cambio climático y responder rápidamente ante evacuaciones masivas por inundaciones o por la transformación de zonas habitables en inhabitables, prever los efectos de esas migraciones y dotar a las personas de las habilidades para la reubicación (BBC, 2009). Junto con ello se difundieron mensajes catastróficos que resultaron perjudiciales, pues los fenómenos antes referidos no impactan en la misma magnitud a todos los pueblos del orbe y, cuando las personas no tienen evidencia vívida de algo, lo mitifican, lo que dificulta que crean en mensajes subsecuentes.⁶

Otra línea de acción fue cuantificar los daños, darles un valor económico y transmitir estos como una manera de aumentar el nivel de sensibilización y participación en instituciones educativas, departamentos gubernamentales, autoridades locales y organizaciones no gubernamentales (Parry et al., 2007; McCarthy et al. 2001). Si bien es cierto que esta visión economicista es necesaria en los tomadores de decisiones, pues en ocasiones no se cuida lo que no cuesta, resulta un tanto complicado, ya que aquello a lo que se le atribuye un valor, en el modelo económico vigente, se convierte en mercancía y esta posee un valor de uso y uno de cambio. Así, es mucho más sencillo contabilizar el valor de cambio que puede tener un árbol, por ejemplo, pero su valor de uso es subjetivo e incalculable sobre todo al contemplarlo como un nodo vital de una red trófica.

Como se ha podido leer, las organizaciones internacionales elaboran un discurso de gran preocupación y la necesidad de acciones urgentes y contundentes para modificar la conducta de la humanidad y lograr la disminución de GEI, pero las estrategias de EA van en otro sentido: la modificación del currículo, la

6 Hargreaves et al. (2003) encontraron que las personas que son asiduas a leer el periódico realizan menos medidas de mitigación porque la forma en la que viven el cambio climático es menos intensa que la informada en el medio de comunicación.

inclusión de algunos temas ambientales en la escuela, la alfabetización ambiental a la sociedad, la formación de especialistas, la modificación de las legislaciones y normativas e incluso preparar para el desastre no son acciones que se traduzcan en respuestas conductuales positivas para mitigar la emisión de GEI.

Baste ver los siguientes datos estadísticos para validar lo antes expuesto: si bien, en el periodo comprendido entre 1990 y 2013, se incrementó el uso de energía renovable en un 1.5 % (Banco Mundial, 2016b), otros datos no fueron tan satisfactorios. El consumo de energía eléctrica (kWh per cápita) aumentó 46.4 % en el mismo periodo (Banco Mundial, 2016a); el petróleo continuó siendo el principal combustible y registró una crecida del 31.4 % en su consumo para el periodo referido (BP Statistical Review, 2012), además que el número de vehículos comerciales y de pasajeros remontó en un 28.08 % y 28.09 % respectivamente entre los años 2006 y 2013 (Carlier, 2023).

Con esos datos no es de extrañar que en las reuniones siguientes se continuara pugnado por un cambio de dirección. En 2016 los Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe (2016, p. 3) acordaron solicitar al PNUMA que impulsara distintas actividades de capacitación y educación ambiental, entre las que deben destacarse: estilos de vida sostenibles, cambio climático, emisiones de gases de efecto invernadero, gestión de riesgos de desastres, biodiversidad, reforestación y regeneración de bosques, calidad del aire, patrones de producción y consumo sostenibles; además piden la traducción al español de diversos manuales entre ellos: los estilos de vida sostenibles, *El niño y el consumo sostenible*; *Producción y consumo sostenible* y *Educación ambiental y cambio climático*.

Lo anterior evidencia la ausencia o, al menos, la debilidad en el conocimiento y manejo de estos temas a pesar de 46 años de existencia formal de la EA y, por ende, poco impacto en la sociedad que debió ser transformada. También muestra que la EA tiene contra sí el tiempo y que es urgente dejar de hacer reuniones y enfocar los esfuerzos en educar.

Dificultades de una EA sostenible

Como se leyó en párrafos anteriores, desde los años ochenta del siglo XX el eje rector de la EA es trabajar para el desarrollo sostenible, pero esta propuesta trajo consigo muchas dificultades:

La primera de ellas es que los gobiernos tuvieron que activar políticas públicas para disminuir la zanja entre pobres y ricos —asunto que hasta la fecha solo ha conducido a fracasos—. Uno de los cambios fue llevar la educación a todos y que esta los dotara de habilidades y competencias que les permitieran resolver problemas e incorporarse en la dinámica del modelo económico vigente.

Se trabajó en la modificación del currículo de EA en los distintos niveles educativos, pero simultáneamente se transformó el modelo educativo general hacia el constructivismo, lo que implicó un arduo proceso de capacitación de docentes y una transformación ideológica de estos, así como la modernización de los espacios educativos. Todos estos cambios aún se encuentran en proceso de transformación y han sumido a muchas naciones en una preocupación mayor por cumplir planes de estudios y programas académicos que en resolver los problemas ambientales, específicamente, el cambio climático que requiere soluciones ágiles y versátiles que chocan con la rigidez de la burocracia educativa (Johnston, 2009; Puk & Makin, 2006).

Un segundo dilema es la urgencia de establecer un diálogo de saberes entre las distintas arenas del conocimiento científico a fin de lograr un trabajo inter y transdisciplinario, pero también entre el ámbito científico y el conocimiento empírico-tradicional de la sociedad no legítima, bajo el entendido de que no existe una sola manera de entender el medio y los problemas ambientales, sino una pluralidad de ideología que deben ser tomadas en cuenta (Leff, 2001, 2003; Loureiro, 2003), pero no como una charla de convencimiento e imposición, sino de consenso, reflexión de lo cotidiano y transformación social (Petraglia, 2001) que impulse una “ciencia de la gente” y la verdadera democratización del conocimiento (Funtowicz & Ravetz, 2000; Toledo, 2002).

Cabe señalar que parte de estas conexiones entre saberes exige que los centros de enseñanza u otras instituciones interesadas en la EA establezcan

relaciones con la comunidad de la que forman parte para trabajar de manera conjunta en la solución de las distintas problemáticas ambientales, pero ello requiere de tiempo que en ocasiones se traslapa con los ciclos escolares, los periodos gubernamentales e incluso con los calendarios para reportar logros y avances, de tal suerte que terminan por establecer vínculos débiles y poco eficientes para la obtención de las metas planteadas.

El tercer aprieto es lograr un equilibrio y no exagerar en lo empírico, pues esto, en palabras de Loureiro (2003), constituye una perspectiva “reduccionista, teóricamente inconsistente y políticamente inconsecuente [que] no toma en cuenta la complejidad de la realidad y el significado transformador [de] la educación [y dificulta el] proceso formativo” (p. 23).

Además, se ha visto que la mayoría de las prácticas de campo de la EA se limitan al reciclaje y olvidan otros aspectos importantes para el cuidado del ambiente; aunado a que no consideran la relación entre la generación de residuos, la cultura de los individuos y sus procesos de consumo ni las dinámicas de producción (Douglas, 2007; Strasser, 2003).

Como si todo lo hasta aquí planteado no fuera suficiente, la EA se tuvo que enfrentar al surgimiento de una comunidad epistémica que comenzó a negar la existencia de los problemas del cambio climático y de una crisis ambiental, apoyados principalmente por la Coalición del Clima Global, un grupo de empresarios transnacionales que se oponen a reducir los GEI y que, para ello, invierten fuertes recursos económicos para enviar mensajes confusos sobre el tema (Brown, 1998; Flannery, 2011; Gelbspan, 1997).

Quizá el problema más delicado es que este modelo de EA sostenible busca que el sistema económico siga funcionando sin cambios, pero al mismo tiempo “expresa, con contundencia, la necesidad de transformar las sociedades actuales, esencialmente injustas, hacia otros modelos de convivencia basados en la equidad y el equilibrio ecológico (Novo, 1998, p. 70).

Aunado a lo anterior, la responsabilidad de las naciones “ricas” altamente industrializadas en la degradación del medio ambiente fue minimizada. Ehriich & Ehriich (1994) pusieron en la mesa de debates el asunto cuando dijeron: “¿No somos nosotros —los ricos, los despreocupados consumidores de los recursos del

planeta— los auténticos ‘parásitos’, ‘gorriones’ y ‘sableadores’ planetarios?⁷ ¿Acaso no es preciso hacer remontar a ‘nuestra gloriosa forma de vida’ —que nuestros portavoces políticos declaran que ‘no es un asunto negociable’ y que juran defender con uñas y dientes— la fertilidad ‘excedente’ o ‘excesiva’, a la que hacemos responsable de la ‘superpoblación’ del globo?”.

Todo lo anterior provocó el surgimiento de lo que García-Díaz (2002) denomina ‘modelo educativo emergente’, pues se encuentra “próximo al Desarrollo Sostenible y al cambio social, [aunque] con diversidad de variantes y submodelos, que van desde postulados más reformistas, centrándose en aspectos éticos, hasta otros más radicales, que se centran en la solución de la crisis social y ambiental buscando para ello un cambio en la estructura económica” (p. 6).

Una doble moral

Con todas estas aristas la EA fue definida a finales de los noventa como “el proceso interdisciplinario para desarrollar ciudadanos conscientes e informados acerca del ambiente en su totalidad, en su aspecto natural y modificado; con capacidad para asumir el compromiso de participar en la solución de problemas, tomar decisiones y actuar para asegurar la calidad ambiental” (Mrazek, 1996, p. 20). Pero ¿cómo sensibilizar a la población? ¿Cómo lograr que realmente se comprometan cuando lo que permea es una doble moral?

En 1973, Reimer escribió que la educación estaba en crisis pues los modelos tradicionales ya no eran funcionales, además mencionó que había que cuidar el currículum oculto de las escuelas pues en él se “fomenta la idea de una sociedad dedicada al consumo competitivo que cree y hace creer que el hombre vive para consumir” (2013, p. 101). Ambas ideas se debatieron en el ámbito educativo, pero la segunda, la del consumo, fue ignorada.

Así, la idea de la decadencia de los modelos educativos fue considerada en las distintas reuniones donde se abordó la forma en que debía ser la EA. Con

⁷ “Se sabe que 20 % de los habitantes más ricos del planeta consumen cerca de 80 % de la materia prima y la energía producidas anualmente” (Porto-Gonçalves, 2004, p. 29).

los años se transitó de la educación tradicional centrada en el conductismo a la cognitivista, y de ahí a la constructivista. Esta última, vigente desde finales del siglo XX, establece que el conocimiento no se origina de la nada ni puede ser transmitido ni acumulado per se, por el contrario, se construye de forma cotidiana y a partir de todos los saberes y experiencias previas, pero para que una persona desee realizar ese ensamble de información es necesario que esta le sea significativa para su propia vida.

Si se toma en cuenta entonces el modelo constructivista vigente, la EA tiene un problema con el anacronismo de las instituciones y de la información que de ellas emana, una incoherencia entre estimular un modelo económico bárbaro, altamente consumista y agresivo con la sociedad y la naturaleza, y al mismo tiempo motivar a la población a una conducta amigable con el ambiente. Como dijera McKeown et al. (2008), la educación se proclama en altos niveles como la clave para una sociedad más sostenible, pero cada día juega un papel en la reproducción de una sociedad insostenible.

Así, la sociedad se enfrenta a un conflicto entre ser educado para el consumo competitivo y, al mismo tiempo, pedirle una reducción de este. Un dilema por la comunicación ambiental que envía mensajes persuasivos son el objetivo de impulsar acciones proambientales para la reducción de GEI y la recepción de mensajes encontrados donde se difunde la exageración del problema (Hansen, 2008; Pilkington, 2008), e incluso la infinidad de anuncios comerciales que estimulan el consumo de productos inútiles y altamente contaminantes. Una incoherencia entre educar en valores ambientales a la población mientras los gobiernos se niegan a cumplir los propios acuerdos que establecen en las distintas reuniones internacionales en pro del ambiente.

No debe olvidarse que la primera regla en la educación es enseñar con el ejemplo (Orr, 2004). Cuando esto no se logra se provoca que el educando se vuelva cínico en su relación con el ambiente argumentando que “por qué debe hacerlo él si nadie lo hace”, de hecho, los estudios realizados por Whitmarsh (2009) y Lorenzoni et al. (2007) documentan que las personas no están dispuestas a hacer sacrificios en su estilo de vida cuando observan que la responsabilidad por luchar contra el cambio climático no es compartida por otras personas u organizaciones.

Y entonces... ¿qué se debe hacer?

Por todo lo hasta aquí planteado es evidente, como dijo Johnston (2009), que los sistemas educativos en general y la EA en particular le han fallado a la tierra y al futuro de la humanidad, pero eso aún puede cambiar; sin embargo, no existe una forma simple de hacerlo y todos los pasos que deben darse exigen un compromiso urgente e impostergable de parte de cada uno de los miembros de la sociedad.

La primera acción y quizá la más importante es pugnar por un modelo económico menos agresivo y más comprometido con el ambiente, pues no se puede evitar el desastre ecológico sin perturbar nuestra actual forma de vida (Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, 2011; Riechmann, 2014). Es claro que esta transformación es difícil de conseguir, e incluso puede percibirse como un planteamiento utópico, sobre todo si se toma en cuenta que la élite económica tiene sus intereses puestos en el consumo exacerbado; empero, el no moderar el consumo y la producción tiene consecuencias que ponen en situación de riesgo la sobrevivencia humana y, por ende, el fin de cualquier modelo económico.

Es cierto que este panorama apocalíptico ya fue planteado muchas veces y que, a pesar de ello nadie hace nada, pues la realidad es que “a la gente le cuesta más trabajo conceder al futuro el mismo nivel de realidad que al presente” (Giddens, 2010, p. 13). Por ello, prefiere despilfarrar y tener una forma de excesiva comodidad hoy que pensar en el precio que va a pagar tiempo después. Lamentablemente, ese futuro ya no es tan distante.

Las acciones para realizar no pueden ser tarea exclusiva de la EA pues gran parte de las emisiones de GEI son generadas o propiciadas por los grandes tomadores de decisiones del orbe. La EA no es la panacea para resolver, por sí sola,⁸ los problemas del cambio climático, pero sí puede ser gestora de cambios que

⁸ Se recomienda el trabajo de Tanuro (2011) donde expone una serie de acciones que deben ejecutar las empresas, los inversionistas y las autoridades gubernamentales para incidir en la disminución de la emisión de GEI.

incidan. No debe olvidarse que para que exista una sobreproducción debe haber un exceso de consumo, así los consumidores tienen más poder del que tradicionalmente se les concede y la concientización y la racionalización de sus actos de compra pueden generar fuertes impactos en los mercados y en las dinámicas de estos; es ahí donde la EA debe actuar.

Sería iluso decir que la EA puede cambiar la conciencia ambiental y los hábitos de consumo de la ciudadanía de forma sencilla. De hecho se debe partir de la existencia de varios contratiempos: *a)* la doble moral —de la que se habló párrafos arriba— colocó a la educación “bajo un supuesto reduccionista de que los problemas generados por el contexto socioeconómico tienen su raíz en [ella y], en las actitudes de sus ciudadanos” (Yus, 1998, p. 77), cuando el problema mayor está en las manos de quienes ostentan en el poder hegemónico;⁹ *b)* el poder referido históricamente dirigió acciones para lograr que en el ámbito educativo se reprodujera el orden económico y social por ellos deseado, de suerte tal que son los primeros en oponerse a efectuar cambios contundentes en la educación (González Muñoz, 2001; Leff, 2006), y *c)* se ha identificado que el conocimiento científico sobre el cambio climático no se traduce en una sociedad comprometida con el medio ambiente (Kahan, 2014; Krasny et al., 2015; Leff, 2006).

A pesar de lo antes expuesto, se puede trabajar en la formación de una conciencia consumista menos voraz y más amigable que resulte exitosa en el corto plazo. Cabe indicar que este apartado no tiene la intención de ofrecer una guía completa, sino de ilustrar algunos puntos a considerar para lograr que las estrategias de EA sean más eficaces:

1. Antes de cualquier plan de acción se debe recordar que diversos estudios en la materia identifican que las personas no desarrollan acciones en pro del ambiente por las siguientes razones: *a)* no saben nada del tema; *b)* saben, pero no lo consideran importante; *c)* poseen un cinismo ambiental derivado de las acciones de otros, principalmente de las autoridades, y *d)* saben y lo consideran importante, pero no saben cómo actuar al respecto (Kempton, 1997; Lorenzoni et al., 2007; Solano, 2009; Whitmarsh, 2009).

9 Para conocer más sobre quiénes son ellos se recomienda el trabajo de Ramírez López (2016).

2. No se debe olvidar que, así como la educación y el medio ambiente, los hábitos de consumo son constructos sociales y constituyen parte de su identidad social. De hecho, muchas de las decisiones de compra son aprendidas y no racionalizadas. Por lo tanto, no pueden ser cambiadas solo dando información o imponiendo sanciones económicas (Black et al., 2001; Whitmarsh, 2009). Toda estrategia debe ser congruente con la dimensión social, la cultura, los valores, la infraestructura y el contexto físico de la vida cotidiana (Kollmuss & Agyeman, 2002; Tanner, 1999).

El educador ambiental debe enseñar a las personas a seleccionar entre los productos que consume, cuáles son menos dañinos para el medio ambiente, a elegir cuando es oportuno adquirir un bien, a evitar el consumismo, a preferir productos amigables, a sancionar a través del boicot de compra a aquellas empresas que no toman su parte de responsabilidad en la disminución de GEI, e incluso si posee algún negocio verde, se le debe instruir sobre los beneficios de las ganancias por volumen de venta y no por precio para que esté dispuesto a disminuir el precio de sus productos a fin de incentivar la adquisición de estos por parte del consumidor.

3. Los valores que deben ser difundidos a través de la EA son la “solidaridad, generosidad, equidad, libertad y democracia de alta intensidad” (Porto-Gonçalves, 2004, p. 31), pero es sumamente importante que los formadores deben estar comprometidos a predicar con el ejemplo.

4. Los planes y programas de EA deben ser flexibles y diseñados a la medida del grupo objetivo; es decir, se deben tomar en cuenta las particularidades del grupo objetivo (edad, género, condición económica, nivel académico, etcétera) para la elección del modelo educativo, las temáticas a tratar, las formas en que serán abordados y las herramientas didácticas. Esto no quiere decir que exista una anarquía de contenidos, sino que estos deben estar disponibles, clasificados, procesados, evaluados y compartidos (Burandt & Barth, 2010) para poder ser adaptados al grupo objetivo. Asimismo, debe dejar de considerarse que las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) son la única opción didáctica; si bien son útiles, versátiles y dinámicas, no están al alcance de todos ni económica ni culturalmente.

Su construcción no debe ser un *desk work*, sino el resultado de un trabajo previo, incluyente y consensado con la comunidad o grupo que ejercerá el rol de educando. En esta convivencia debe obtenerse información sobre sus hábitos, ideología, valores, e incluso sobre su imaginario, las representaciones sociales y la percepción que tienen sobre el cambio climático y el ambiente de su comunidad (Hulme, 2009; Marín et al., 2003).

Si se desea que la población tome conciencia sobre el cambio climático e incluso modifique sus constructos sobre el tema, se debe recordar que la percepción que las personas tienen de su lugar, del mundo y de los problemas que les aquejan incide en la efectividad de la EA, pues constituye la forma en que “hacen inteligible su realidad física y social” (Moscovici, 1979).

5. Una representación social solo puede ser cambiada por las propias experiencias del individuo y su confirmación dentro del grupo social, por ello, es importante que existan algunos motivadores. Algunas políticas públicas premian económicamente a las comunidades que conservan los bosques o a las empresas que disminuyen su emisión de GEI, si bien no es deseable que las personas se muevan solo por un beneficio económico, pues no muestra una transformación significativa en los valores, constituye un buen primer paso. No obstante, es significativo que se desarrollen incentivos para el resto de la población. De forma paralela puede usarse el patrimonio como otro motivador, pues la pérdida de este implica una fractura con la cultura del grupo social (Morón-Morge & Morón-Morge, 2017).

6. La EA en el ámbito formal debe incluirse en el currículo de todos los niveles y grados académicos de forma efectiva, no como una materia en sí, sino de forma transversal en todos los campos del saber, pues en una realidad compleja no existen las fronteras que artificialmente se le han puesto al conocimiento, además, todas las arenas del saber son afectadas por los cambios climáticos que ya se están viviendo.

7. Al buscar transmitir información se debe considerar que “decir algo no significa que te escuchen; el que te escuchen, no significa que te entiendan; que te entiendan, no significa que lo acepten y; que lo acepten, no significa que hagan lo que se ha propuesto” (Solano, 2009, p. 53). Así, la manera en que

se comunica información sobre el cambio climático debe ser cuidada, pues no debe olvidarse que “la degradación ambiental es resultado de las formas de conocimiento a través de las cuales la humanidad ha construido el mundo” (Leff, 2006, p. 2).

Por un lado, la información que se transmite en la mayoría de las familias e incluso en los medios de comunicación es poco seria, confusa y tendenciosa (Montaño Salas, 2012) y, como se explicó en apartados anteriores, tiende a desmotivar la participación de la ciudadanía. Por otro, la información de los especialistas en EA tiende a ser aburrida y sin la aplicación de herramientas mercadológicas.

Una buena estrategia es emplear las mismas herramientas que usan las empresas para promover sus productos y convertirlos en necesarios. Se debe lograr que la preocupación por el cambio climático se convierta en una necesidad construida. Para ello debe evitarse lanzar información generalizada. Es necesario segmentar los grupos y atender las características de cada uno. El mensaje debe ser claro, atractivo y de buena calidad, debe ser emitido de forma reiterada en un solo día para lograr que se fije en los pensamientos: Deben usarse los canales adecuados para el grupo objetivo y exponer los beneficios de cuidar la emisión de GEI no solo objetivos, sino subjetivos como estatus, comodidad, seguridad o la sensación de bienestar. Y, lo más importante, quien emita la información debe poseer credibilidad.

8. Al transmitir información se debe considerar que la gente no le teme al futuro en cuanto al cambio climático por diversas causas: *a)* la población tiende a ignorar los riesgos cuando no son fácilmente observables o si sus efectos son diferidos (Berube, 2009; OMS, 2002; World Economic Forum, 2021); *b)* los fenómenos de largo plazo tienden a ser subestimados (Lichtenstein et al., 1978; García-Gómez et al., 2019; Giddens, 2010); *c)* la realidad es filtrada socialmente, de tal suerte que cada grupo elige a que temer y dan prioridad a aquello que los pone en condición de marginación inmediata con relación a otros grupos (Beck, 1997; Friedman, 2011; Oltedal et al., 2004); *d)* los seres humanos no actúan de forma pasiva al recibir información, sino que la ajustan a su realidad, de forma tal que cuando algo es nuevo o no es comprendido completamente buscan en su

experiencia pasada otras formar de sobrevivir y, en ocasiones, aplican modelos inadecuados o hacen conclusiones poco válidas (Kempton, 1997; Meira Carteia, 2013), y e) las personas tienden a ignorar el peligro argumentando que les puede pasar a otros pero no a ellas (Donahue et al., 2014).

9. Para que las personas hagan cambios significativos en su forma de vida es importante que primero se sientan vulnerables, luego el problema debe colocarlos en posibilidad de riesgo y, por último, debe haber una fractura en su cotidianidad. Lo lamentable para el caso del cambio climático es que cuando las fracturas sucedan, de poco servirá la EA, por lo tanto, debe enseñarse los efectos y establecer dinámicas de enseñanza que les permitan vivenciar anticipadamente lo que sucederá si no realizan una transformación en sus hábitos contaminantes y de consumismo. Asimismo, se necesita continuar con la educación para la adaptación que incluye aprender a vivir en mundo modificado por el cambio climático, a responder rápidamente ante las situaciones de crisis, e incluso a vivir en sensación de vulnerabilidad o enfrentar los sentimientos de pérdida.

10. Se debe considerar que los seres vivos actúan de forma sistemática y compleja entre sí y con objetos inanimados, además que establecen relaciones en red y la tipología de estas las debilita o fortalece e incluso la eliminación de un nodo puede constituir la fractura completa de la red. Por ello, la EA debe emplear las herramientas de la teoría de la red de actores para identificar, por un lado, los actores nodales en una comunidad que son altamente influyentes o bien aquellos que sirven de intermediarios y que pueden incidir positivamente en el flujo de información y la puesta en marcha de los diálogos de saberes, además de los planes de acción. Asimismo, se puede emplear para demostrar los cambios en su comunidad en caso de continuar con los hábitos actuales (Callon, 1998; Latour, 1992).

11. Por último, la EA debe estar enfocada en lograr que las personas piensen como quieren y deben vivir, en que posean las habilidades para la acción civil de forma tal que su voz sea escuchada y se transforme en políticas públicas, pero también que sean responsables colectivamente de las decisiones que tomen en materia ambiental. Los educadores ambientales deben fomentar que las personas sean activas en los distintos escenarios, foros o debates donde se discutan

las acciones a tomar en torno al tema del cambio climático y las acciones para disminuir las emisiones de GEI. Ello implica trabajar en la formación de un carácter asertivo, el compromiso cívico, la capacidad de diálogo, el trabajo colaborativo y la responsabilidad en acción (Burandt & Barth, 2010; Heimlich & Ardoin, 2008; Krasny et al., 2015; Tanuro, 2011).

También se debe fortalecer la idea de que los pequeños esfuerzos colectivos son mejor que los individuales o que no hacer nada. Esto debe hacerse sin olvidar que desde los años setenta se ha enseñado a la población del mundo que somos individuales e independientes. De hecho, la mayoría considera que su preocupación por los problemas ambientales de poco sirven, pasan desapercibidos e incluso no tiene poder para modificar el curso de acción de las cosas. Por ello es importante hablar y difundir las acciones colectivas exitosas y estimular “la reflexión crítica y la problematización, apoyadas en una acción consciente” (Loureiro, 2003).

Conclusiones

Para que la EA pueda ser una buena estrategia para lograr incidir en la disminución de emisiones de GEI y, por ende, en el cambio climático debe efectuar acciones complejas, inclusivas, holísticas, inter y transdisciplinarias para ofrecer un aprendizaje transformador que logre modificar los hábitos de consumo y la forma en que se está concibiendo la relación del hombre con el medio ambiente.

Estas acciones complejas incluyen impulsar en la educación tanto formal como informal un pensamiento más reflexivo y comprometido que incida en una sociedad participativa y consciente de que su actuar la emancipa de dinámicas colonizadoras que afectan su propia sobrevivencia. Para lograr lo anterior debe establecerse un diálogo entre la comunidad lega y no lega para que los primeros desarrollen estrategias de EA específicas para el grupo atendido y dejar de querer imponer políticas, modelos e incluso planes de EA homologados.

Por último, debe considerarse que los problemas del cambio climático están reticulados, por lo que no pueden ser vistos de forma desarticulada. De la misma

forma en que se considera una comprensión sistemática del mundo, es urgente que la EA deje de constituir una isla del saber y sea incluida en todas las disciplinas del conocimiento.

Referencias

- Aliaga Castillo, L. I. (2013). Cuarenta años después ¿La escuela ha muerto? *Capa: Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação*, 8(1), 96-106. <https://periodicos.fclar.unesp.br/iberoamericana/article/view/6477>
- Banco Mundial. (2016a). *Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita)*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.ELEC.KH.PC?view=chart>
- Banco Mundial. (2016b). *Renewable energy consumption (% of total final energy consumption)*. <http://data.worldbank.org/indicador/EG.FEC.RNEW.ZS>
- Banco Mundial. (2016c). *Total greenhouse gas emissions (kt of CO2 equivalent)*. <https://data.worldbank.org/indicador/EN.ATM.GHGT.KT.CE?view=chart>
- Bangay, C., & Blum, N. (2010). Education responses to climate change and quality: Two parts of the same agenda? *International Journal of Educational Development*, 30(4), 359-368. <https://doi.org/10.1016/j.ijedu-dev.2009.11.011>
- Barbetta, P., Cox, M., Domínguez, D., & Pessoa, K. (2018). Neoliberalismo y cuestión ambiental: entre la crisis ecológica y la ruptura paradigmática. *Revista de la carrera de Sociología*, 8(8), 333-359.
- Bauman, Z. (2013). *Vidas desperdiciadas. La modernidad y sus parias*. Paidós.
- BBC. (2009, 15 de julio). *Pressure rises on school places*. 1 de febrero de 2017. <http://news.bbc.co.uk/1/hi/education/8150563.stm>
- Beck, U. (1997). La reinención de la política: hacia una teoría de la modernización reflexiva. En A. Giddens, U. Beck, & S. Lash, *Modernización Reflexiva: política, tradición y estética en el orden social moderno* (pp. 13-73). Alianza.
- Beck, U. (1998). *La Sociedad del Riesgo. Hacia una nueva modernidad*. Paidós.
- Beck, U. (2002). *La sociedad del Riesgo Global*. Siglo XXI.

- Benegas, J., & Marcén, C. (1995). La Educación Ambiental como desencadenante del cambio de actitudes ambientales. *Revista Complutense de Educación*, 6(2), 11-28. <https://revistas.ucm.es/index.php/RCED/article/view/RCED9595220011A>
- Berube, D. M. (2009). Intuitive Toxicology: The Public Perception of Nanoscience. En F. Allhoff, & P. Lin (Eds.), *Nanotechnology and Society. Current and Emerging Ethical Issues* (pp. 91-108). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6209-4_5
- Black, C., Collins, A., & Snell, M. (2001). Encouraging walking: the case of journey-to-school trips in compact urban areas. *Urban Studies*, 38(7), 1121-1141. <https://doi.org/10.1080/00420980124102>
- BP Statistical Review. (2012). *Statistical Review of World Energy 2011*. Consultado el 3 de febrero de 2017.
- Breiting, S. (1997). *Hacia un nuevo concepto de Educación Ambiental* [Carpeta informativa del CENEAM]. Ministerio de Medio Ambiente.
- Brown, P. (1998). *Alarma: el planeta se calienta*. Flor del Viento Ediciones.
- Burandt, S., & Barth, M. (2010). Learning settings to face climate change. *Journal of Cleaner Production*, 18(7), 659-665. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.09.010>
- Callon, M. (1998). El proceso de construcción de la sociedad. El estudio de la tecnología como herramienta para el análisis sociológico. En M. Domenech, & T. Javier (Eds.), *Sociología simétrica. Ensayos sobre ciencia, tecnología y sociedad* (pp. 143-170). Gedisa.
- Caride, J., & Maira, P. (2001). *Educación Ambiental y desarrollo humano*. Ariel.
- Carlier, M. (2023). *Number of passenger cars and commercial vehicles in use worldwide from 2006 to 2015 in (1,000 units)*. Statista. <https://www.statista.com/statistics/281134/number-of-vehicles-in-use-worldwide/>
- Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (Ed.). (2011). *Guías didácticas de la Educación Ambiental: Vol. 1. Educación Ambiental y cambio climático*.
- Crema, R. (1989). *Introducción a visión holística*. Summus.

- Dodero H., C. (1979). El Nuevo Orden Económico Internacional. La promesa y la realidad. *Comercio Exterior*, 29(11), 1212-1220.
- Donahue, A. K., Eckel, C. C., & Wilson, R. K. (2014). Ready or not? How citizens and public officials perceive risk and preparedness. *The American Review of Public Administration*, 44(Supl. 4), 89-111. <https://doi.org/10.1177/0275074013506517>
- Douglas, M. (2007). *Pureza y peligro. Un análisis de los conceptos de contaminación y tabú*. Siglo XXI.
- Duncan, E. (2009, 5 de diciembre). *Getting Warmer: A Special Report on Climate Change and the Carbon Economy*. The Economist. <https://www.economist.com/special-report/2009/12/05/getting-warmer>
- Ehriich, & Ehriich. (1994). *Demasiada gente rica*. Conferencia Internacional sobre Población y Desarrollo, El Cairo.
- Febres-Cordero, M. E., & Floriani, D. (2003). Políticas de Educación Ambiental y Formación de Capacidades para el Desarrollo Sustentable. En E. Leff, E. Ezcurra, I. Pisanty, & P. Romero Lankao (Comp.), *La transición hacia el desarrollo sustentable. Perspectivas de América Latina y el Caribe* (pp. 141-160). INE; UAM; PNUMA.
- Flannery, T. (2011). *La amenaza del cambio climático*. Taurus.
- Foro Global Ciudadano. (1992, 9 de junio). *Tratado de educación ambiental hacia sociedades sustentables y de responsabilidad global*. Río de Janeiro.
- Friedman, A. (2011). Toward a sociology of perception: Sight, sex, and gender. *Cultural Sociology*, 5(2), 187-206. <https://doi.org/10.1177/1749975511400696>
- Funtowicz, S., & Ravetz, J. (2000). *Epistemología política: Ciencia con la gente*. Icaria.
- García Díaz, J. E. (2002). Los problemas de la educación ambiental: ¿es posible una educación ambiental integradora? *Investigación en la Escuela*, (46), 5-25. <https://doi.org/10.12795/IE.2002.i46.01>
- García Gómez, A., Limón Portillo, A., & Méndez Méndez, J. S. (2019, 20 de agosto). *Las finanzas públicas del cambio climático. Origen, costos y alternativas de los gases de efecto invernadero*. Centro de Investigación Económica y Presupuestaria. <https://ciep.mx/I6CL>

- Gaudio González, E. (2001). Otra lectura a la historia de la educación ambiental en América Latina y el Caribe. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, (3), 141-158.
- Gelbspan, R. (1997). *The Heat Is On: the Climate Crisis, the Cover-up, the Prescription*. Addison-Wesley.
- Giddens, A. (2010). *La política del cambio climático*. Alianza.
- González Muñoz, M. del C. (2001). Principales tendencias y modelos de la Educación Ambiental en el sistema escolar. *Revista Iberoamericana de Educación*, 11, 13-74. <https://doi.org/10.35362/rie1101157>
- Gowin, D. B. (1981). *Educating*. Cornell University Press.
- Gutiérrez, J. (1995). *La educación ambiental. Fundamentos teóricos, propuestas de transversalidad y orientaciones extracurriculares*. La Muralla.
- Hansen, J. (2008, 23 de junio). *Global warming twenty years later*. Recuperado el 23 de enero de 2017 de Worldwatch Institute.
- Hargreaves, I., Lewis, J., & Speers, T. (2003). *Towards a Better Map: Science, the Public And the Media*. The Communication Initiative Network. <https://www.comminit.com/content/towards-better-map-science-public-and-media>
- Heimlich, J., & Ardoin, N. (2008). Understanding behavior to understand behavior change: a literature review. *Environmental Education Research*, 14(3), 215-237. <https://doi.org/10.1080/13504620802148881>
- Hulme, M. (2009). *Why We Disagree about Climate Change. Understanding Controversy, Inaction and Opportunity*. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change Working Group II. (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution to the Fourth Assessment of IPCC*. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change Working Group III. (2001). *Summary for Policymakers. The Scientific, Technical, Environmental, Economic and Social Aspects of the Mitigación of Climate Change* [documento oficial distribuido en internet por el IPCC].
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report*.

- International Council on Human Rights Polic. (2008). *Climate Change and Human Rights: A Rough Guide*. Versoix, Switzerland: International Council on Human Rights Policy .
- Johnston, J. (2009). Transformative Environmental Education: Stepping Outside the Curriculum Box. *Canadian Journal of Environmental Education*, 14, 149-157.
- Kahan, D. M. (2014). Climate Science Communication and the Measurement Problem. *Advances in Political Psychology*, 36(S1), 1-43. <https://doi.org/10.1111/pops.12244>
- Kempton, W. (1997). How the Public Views Climate Change. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 39(9), 12-21.
- Kollmuss, A., & Agyeman, J. (2002). Mind the gap: why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior. *Environmental Education Research*, 8(3), 239-260. <https://doi.org/10.1080/13504620220145401>
- Krasny, M., Carey, J., DuBois, B., Lewis, C., Fraser, J., Fulton, K., Spitzer, B., Leou, L., Braus, J., Ferguson, A., Marcos-Iga, J., & Price, A. (2015). *Climate Change and Environmental Education: Framing Perspectives*. Cornell University Press.
- Latour, B. (1992). *Ciencia en acción. Cómo seguir a los científicos e ingenieros a través de la sociedad*. Labor.
- Le Treut, H., Somerville, R., Cubasch, U., Ding, Y., Mauritzen, C., Mokssit, A., Peterson, T., Prather, M. (2007). Historical Overview of Climate Change. En S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. Averyt, M. Tignor, & H. Miller (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* (pp. 95-127). Cambridge University Press.
- Leff, E. (2001). *Epistemología ambiental*. Cortez.
- Leff, E. (2003). *A complexidade ambiental*. Cortez.
- Leff, E. (2006). Complejidad, racionalidad ambiental y diálogo de saberes. *I Congreso internacional interdisciplinar de participación, animación e intervención socioeducativa* (pp. 1-12). Centro Nacional de Educación Ambiental.

- Lichtenstein, S., Slovic, P., Fischhoff, B. L., & Combs, B. (1978). Judged frequency of lethal events. *Journal of Experimental Psychology (Human Learning and Memory)*, 4, 551-578. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.4.6.551>
- Lorenzoni, I., Nicholson-Cole, S., & Whitmarsh, L. (2007). Barriers perceived to engaging with climate change among the UK public and their policy implications. *Global Environmental Change*, 17(3-4), 445-459. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2007.01.004>
- Loureiro, C. F. (2003). Emancipación, complejidad y método histórico dialéctico: Repensar las tendencias de educación ambiental. *Tópicos en Educación Ambiental*, 5(3), 21-30.
- Marín, A. A., Torres de Oliveira, H., & Comar, V. (2003). Percepción ambiental, imaginario y prácticas educativas. *Tópicos en Educación Ambiental*, 5(13), 73-80.
- McCarthy, J., Canziani, O., Leary, N., Dokken, D., & White, K. (Eds.). (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press.
- McKeown, R., Hopkins, C., & Rizzi, R. C. (2008, 11 de julio). *Education for Sustainable Development Toolkit (Version 2)*. University of Tennessee. http://www.esdtoolkit.org/esd_toolkit_v2.pdf
- Medeiros de Mello, L., & Heemann, A. (2002). Indagando sobre el formalismo en la educación ambiental. *Tópicos en Educación Ambiental*, 4(11), 19-32.
- Meira Carteia, P. Á. (2013). Problemas ambientales globales y educación ambiental. Una aproximación desde las representaciones sociales del cambio climático. *Revista Integra Educativa*, 6(3), 29-64.
- Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe. (2016, 28-31 de marzo). *Decisión 3. Educación Ambiental para el Desarrollo Sostenible*. xx Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y El Caribe, Cartagena, Colombia.
- Montaño Salas, F. E. (2012). La educación ambiental en México ante la crisis ambiental. *Revista Vinculando*, 10(1). <http://vinculando.org/ecologia/la-educacion-ambiental-en-mexico-ante-la-crisis-ambiental.html>

- Morón-Morge, H., & Morón-Morge, M. del C. (2017). ¿Educación Patrimonial o Educación Ambiental?: perspectivas que convergen para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 244-257. <https://doi.org/10498/18859>
- Moscovici, S. (1979). *Psicoanálisis, su imagen y su público*. Huemul.
- Mrazek, R. (1996). *Paradigmas alternativos de investigación en educación ambiental*. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias-Universidad de Guadalajara.
- Muñoz Oraá, L. (1994). *Contribución a la historia de la Educación Ambiental en Venezuela*. UNELLEZ.
- Novo, M. (1988). *Educación ambiental*. Anaya.
- Novo, M. (1998). *La Educación Ambiental. Bases éticas, conceptuales y metodológicas*. Universitas.
- Oltedal, S., Moen, B.-E., Klempe, H., & Rundmo, T. (2004). *Explaining risk perception. An evaluation of cultural theory*. Rotunde publikasjoner.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (1975, 13-22 de octubre). *La carta de Belgrado. Un marco general para la educación ambiental*. Seminario Internacional de Educación Ambiental de UNESCO-PNUMA. <http://unesdoc.unesco.org/images/0001/000177/017772sb.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (1980). *La educación ambiental. Las grandes orientaciones de la Conferencia de Tbilisi*. ONU.
- Organización de las Naciones Unidas. (1982, 28 de octubre). *Carta Mundial de la Naturaleza. Resolución 37/7*. Asamblea General de las Naciones Unidas.
- Organización de las Naciones Unidas. (1987). *Our Common Future*. Comisión Mundial Para el Medio Ambiente y el Desarrollo.
- Organización de las Naciones Unidas. (1992, 14 de junio). *Declaración de Río sobre el medio ambiente y el desarrollo*. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm>

- Organización de las Naciones Unidas. (2000, 13 de septiembre). *Resolución aprobada por la Asamblea General 55/2. Declaración del Milenio*. Washington.
- Organización de las Naciones Unidas. (2015, 12 de diciembre). *Aprobación del Acuerdo de París. FCCC/CP/2015/L.9*. Conferencia de las Partes 21.º periodo de sesiones. Convención Marco sobre el Cambio Climático-Organización de las Naciones Unidas, París.
- Organización de las Naciones Unidas. (2016). *Marrakech action proclamation for our climate and sustainable development*. 22.ª Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Clima, Organización de las Naciones Unidas, Marrakech, Marruecos.
- Organización Mundial de la Salud. (2002). Informe sobre la salud en el mundo 2002. Reducir los riesgos y promover una vida sana. En *Percepción de los riesgos* (pp. 31-50). OMS.
- Orr, D. W. (2004). *Earth in Mind. On Education, Environment, and the Human Prospect*. Island Press.
- Palley, T. I. (2007). Del keynesianismo al neoliberalismo: Paradigmas cambiantes de la Economía. *Economía*, 2(4), 138-149.
- Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., Van der Linden, P. J., & Hanson, C. E. (Eds.). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Petraglia, I. (2001). *Olhar sobre o olhar que olha*. Vozes.
- Pilkington, E. (2008, 23 de junio). Put oil firm chiefs on trial, says leading climate change scientist. *The Guardian*. <http://www.guardian.co.uk/environment/2008/jun/23/fossilfuels.climatechange>
- Porto-Gonçalves, C. W. (2004). *Desafío ambiental*. ONU-PNUMA.
- Puk, T., & Makin, D. (2006). Ecological consciousness in Ontario elementary schools: The truant curriculum and the consequences. *Applied Environmental Education & Communication*, 5(4), 269-276.
- Ramírez López, M. (2016). *Hegemonía corporativa transnacional: Superposición de redes de poder de las élites cupríferas* [Tesis doctoral]. El Colegio de San Luis.

- Reunión Internacional de Expertos en Educación Ambiental. (2000). *Nuevas Propuestas para la Acción*. Santiago de Compostela, Galicia.
- Riechmann, J. (2014, 24 de abril). *El síntoma se llama calentamiento climático, pero la enfermedad se llama capitalismo* [Cátedra en la Facultad de Geografía e Historia]. Universidad Complutense de Madrid.
- Riechmann, J. (2016). *El no actuar en aquellos días... Apuntes sobre la crisis ecosocial*. Foro Transiciones.
- Sierra Macarrón, L. (2012). La educación ambiental o la educación para el desarrollo sostenible: su interpretación desde la visión sistémica y holística del concepto de medio ambiente. *Educación y Futuro*, (26), 17-42.
- Solano, D. (2009). *Estrategias para la comunicación y la educación del desarrollo sostenible*. UNESCO; Fundación YPF; Japanese Fund in Trust.
- Strasser, S. (2003). Waste and Want. The Other Side of Consumption. *Annual Lecture Series: German Historical Institute*, 5, 1-34. <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?fidaac-11858/838>
- Tanner, C. (1999). Constraints on environmental behaviour. *Journal of Environmental Psychology*, 19, 145-157. <https://doi.org/10.1006/jevpp.1999.0121>
- Tanuro, D. (2011). *El imposible capitalismo verde. De la revolución climática capitalista a la alternativa ecosocialista*. La Oveja Roja.
- Teodorescu, G., & Oros, C. (2010). Development of education on environmental and climate change impacts in Romania. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 5502-5506. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.897>
- Terrón Amigón, E. (2000). La educación ambiental ante los desafíos del siglo XXI. *Revista de la Academia Mexicana de Profesores de Ciencias Naturales A.C.*, 5-13.
- Tilbury, D. (1995). Environmental Education for sustainability: defining the new focus of Environmental Education in the 1990s. *Environmental Education Research*, 1(2), 195-211. <http://dx.doi.org/10.1080/1350462950010206>
- Toledo, V. (2002). Ethnoecology: a conceptual framework for the study of indigenous knowledge of nature. En J. Stepp et al. (Eds.), *Ethnobiology and Biocultural Diversity: Vol. 3* (pp. 511-522). University of Georgia Press.

- Toro Calderón, J. J., & Lowy Cerón, P. D. (2005). *Educación Ambiental: Una cuestión de valores*. Universidad Nacional de Colombia.
- University Leaders for a Sustainable Future. (1990, 27 de enero). *Declaración de Líderes de Universidades para un Futuro Sostenible. Declaración de Talloires*. Association of University Leaders for a Sustainable Future.
- Weil, P. (1990). *Holística: uma nova visão e abordagem do real*. Palas Athena.
- Whitmarsh, L. (2009). Behavioural responses to climate change: Asymmetry of intentions and impacts. *Journal of Environmental Psychology*, 29(1), 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2008.05.003>
- World Economic Forum. (2021). *The Global Risks Report 2021*. <https://www.weforum.org/publications/the-global-risks-report-2021/>
- Yus, R. (1998). Sobre la coexistencia de dos concepciones educativas en el currículum de la LOGSE. *Aula de Innovación Educativa*, 69, 73-78.
- Zabala G., I., & García, M. (2008). Historia de la Educación Ambiental desde su discusión y análisis en los congresos internacionales. *Revista de Investigación*, 32(63), 1-10.

Desarrollo humano en condiciones de cambio climático

Enrique Sánchez Salinas
Ma. Laura Ortiz Hernández
María Luisa Castrejón Godínez
Alexis Joavany Rodríguez Solís

Desarrollo humano

Tras una profunda crisis económica sufrida en América Latina y el Caribe durante la década de 1980, la región aumentó los índices de pobreza. A partir de entonces y como resultado de la imposición de las políticas neoliberales, surgió la idea del “desarrollo humano”. Además, este concepto se constituyó en una bandera que levantaron los humanistas, ecologistas y, en general, amplios sectores sociales, en oposición a las políticas neoliberales y a la expansión de la globalización. El término enfatiza los aspectos de la equidad y la importancia de que las políticas sociales contribuyan al desarrollo de las capacidades de las personas (capital social) como medio para mejorar calidad de vida (Cuéllar Saavedra & Moreno Armella, 2009).

El desarrollo humano ha sido definido como el proceso de ampliación de las opciones y libertades de las personas para que puedan vivir una vida plena y satisfactoria. Implica mejorar las condiciones materiales, sociales, culturales y ambientales que permiten el bienestar individual y colectivo. El concepto de desarrollo humano exige no solo analizar las mediaciones que el ser humano emplea para su supervivencia (economía, educación, tecnología, innovación, etc.), sino que, en el largo proceso de humanización, lo que está logrando como especie, además de las múltiples interacciones que establece el hombre con su entorno y que le permite su propia existencia (Serrano López, 2021).

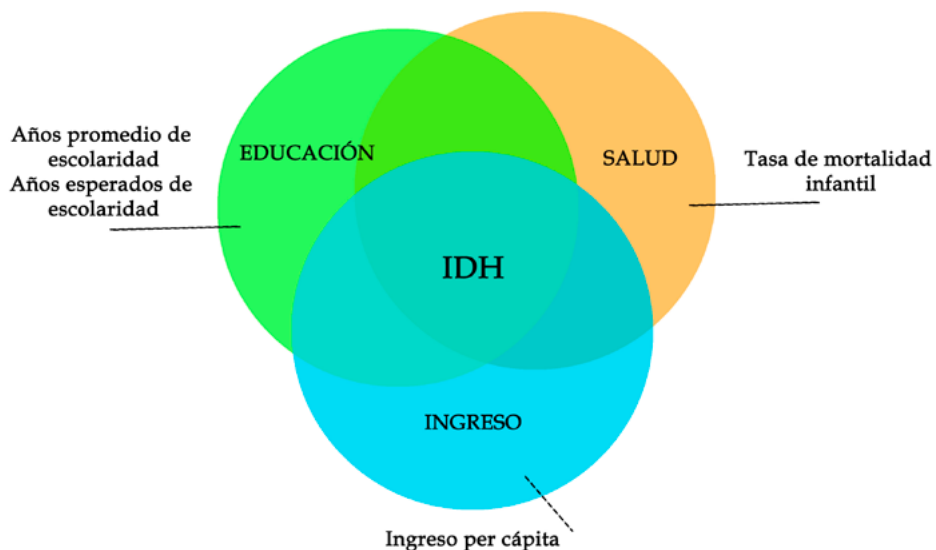
Este desarrollo se mide mediante el índice de desarrollo humano (IDH), que combina el análisis de tres dimensiones: salud, nivel educativo e ingreso (figura 1).

El IDH varía entre 0 y 1; un valor de 1 establece la meta o el valor máximo posible en esta materia. A nivel internacional, los niveles de desarrollo humano se clasifican de la siguiente manera (PNUD, 2022b):

- Nivel bajo: menos de 0.55.
- Nivel medio: entre 0.55 y 0.7.
- Nivel alto: entre 0.7 y 0.8.
- Nivel muy alto: mayor a 0.8.

En el caso particular de México, a partir de la gran heterogeneidad del país por la riqueza que se construye desde la diversidad de las personas y sus territorios, se realizó el ejercicio de generación de información y evidencias sobre el desarrollo humano nacional a escala municipal. En este estudio se concluye que:

Figura 1. Estructura del IDH



Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2022b).

Si bien la pérdida de desarrollo humano por desigualdad no ha incrementado a lo largo del periodo analizado, sí se observa su prevalencia como resultado de las brechas aún existentes entre espacios geográficos y tendencias demográficas. Por lo tanto, la realidad local se caracteriza por ser persistentemente desigual (PNUD, 2022b).

Sin embargo, entre 1990 y 2019, el IDH de México aumentó de 0.656 a 0.779, un incremento del 18.8 %. Entre 1990 y 2019 la esperanza de vida al nacer en México aumentó en 4.2 años, los años promedio de escolaridad aumentaron en 3.2 años y los años esperados de escolaridad aumentaron en 4.2 años (tabla 1; PNUD, 2020).

Tabla 1. Tendencias del IDH de México 1990-2019

Año	Esperanza de vida al nacer	Años esperados de escolaridad	Años promedio de escolaridad	Valor del IDH
1990	70.9	10.6	5.5	0.656
1995	72.6	10.7	6.4	0.677
2000	74.3	11.5	6.7	0.708
2005	75.3	12.7	7.6	0.737
2010	75.1	13.2	8.0	0.748
2015	74.9	13.9	8.6	0.766
2016	74.9	14.0	8.6	0.768
2017	74.9	14.2	8.6	0.771
2018	75.0	14.6	8.6	0.776
2019	75.1	14.8	8.8	0.779

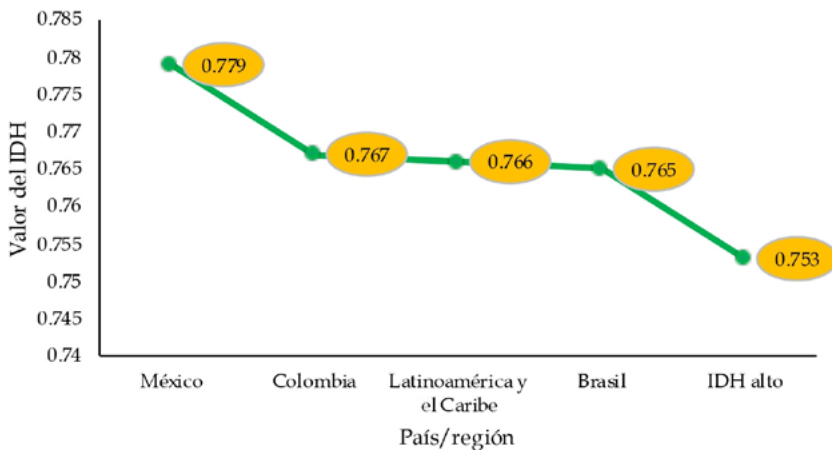
Fuente: Elaboración propia con base en PNUD (2020).

El IDH permite medir el progreso del desarrollo humano y resulta útil para la comparación entre diferentes países. México presentó en 2019 un IDH de 0.779, superior al promedio de los países del grupo de desarrollo humano alto (0.753) y es superior al de los países de Latinoamérica y el Caribe (0.766). En la región de América Latina y el Caribe, México se compara con Brasil y Colombia, cuyos IDH ocupan los lugares 84.º y 83.º, respectivamente (figura 2; PNUD, 2020).

El PNUD (2022a) señala que el mundo está experimentando una transformación fundamental que se evidencian con enfermedades como la pandemia de COVID-19, las diversas guerras en el mundo, los problemas ambientales (tempestades e inundaciones, incendios y altos registros térmicos) que constituyen un conjunto de presiones planetarias desestabilizadoras y desigualdades crecientes.

Esta situación ha originado un nuevo “complejo de incertidumbre” nunca visto en la historia de la humanidad (figura 3). Este complejo se caracteriza por tres componentes que interactúan entre sí: las presiones y desigualdades

Figura 2. IDH 2019 de México respecto de algunos países seleccionados de América Latina y el Caribe



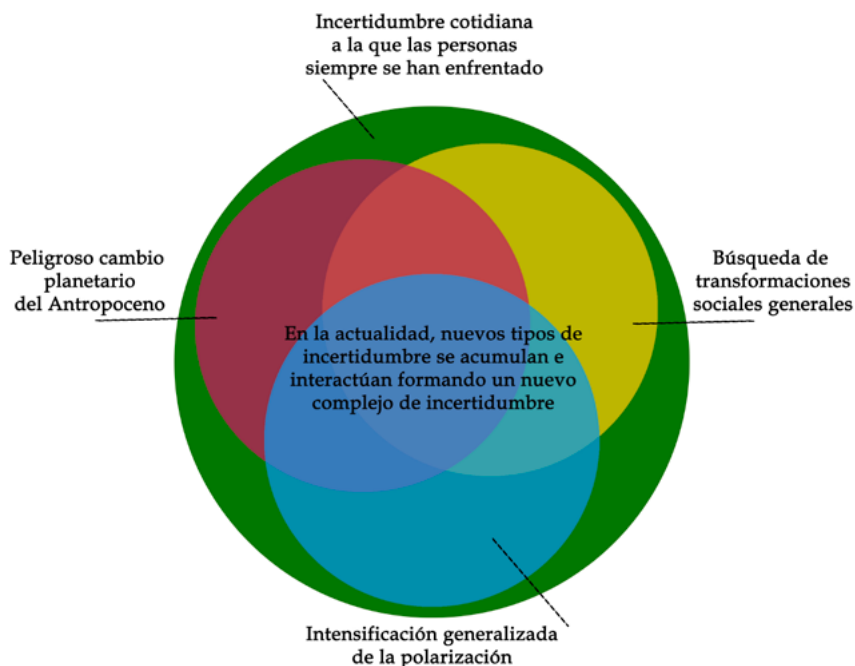
Fuente: Elaboración propia con base en PNUD (2020).

desestabilizadoras del Antropoceno; la búsqueda de transformaciones sociales generales que permitan aliviar esas presiones, además de una polarización cada vez más amplia e intensa. Todo esto impide el desarrollo humano y desestabiliza las vidas en todo el mundo (PNUD, 2022a).

Cambio climático: impactos

Las actividades humanas emiten gases de efecto invernadero, con lo cual se causa el calentamiento global; en el período 2011-2020 la temperatura de la superficie terrestre alcanzó 1.1 °C por encima del período 1850-1900. Las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero han seguido aumentando entre 2010 y

Figura 3. Panorama general de un nuevo complejo de incertidumbre



Fuente: Elaboración propia con base en PNUD (2022a).

2019, con contribuciones históricas derivadas del uso insostenible de la energía, el cambio de uso del suelo, los estilos de vida y los patrones de consumo y producción en todas las regiones, entre países y dentro de ellos, y entre individuos. El cambio climático antropogénico ya está provocando fenómenos climáticos extremos en todas las regiones del mundo. Las comunidades vulnerables que históricamente han contribuido menos al cambio climático se ven afectadas de manera desproporcionada (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2023).

El cambio climático es uno de los problemas más grandes que enfrenta la humanidad. Los patrones de producción y consumo basados en la quema de combustibles fósiles han generado concentraciones de CO₂ en la atmósfera sin precedentes, alcanzando 411.1 partes por millón (ppm) a noviembre de 2019 (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2021). Es un problema de gran complejidad debido a que sus efectos incluyen diferentes implicaciones en los sistemas físicos, biológicos y humanos, tales como el incremento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos, amenazas a la biodiversidad y a los ecosistemas, disminución en la producción de alimentos y el acceso al agua, así como a afectaciones sobre los medios de subsistencia, la economía, la salud de las poblaciones (IPCC, 2022) —así como las migraciones e islas insulares pequeñas que podrían ser inhabitables por las nuevas condiciones climáticas (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL] & Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos, 2019; Consejo de Derechos Humanos, 2016)—.

Se espera que la trayectoria actual de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) conduzca a un calentamiento global de 4.1 a 4.8 °C por encima de los niveles preindustriales para 2100, lo que representa una enorme amenaza para el futuro de las naciones y economías del mundo. Los riesgos asociados con un aumento de más de 2 °C en las temperaturas globales para fines de siglo son significativos y están creciendo en importancia tanto en términos de probabilidad como de impacto. El IPCC (2018) concluye que existen impactos significativos asociados con un calentamiento de 1.5 °C, un umbral que probablemente se supere entre 2030 y 2052 al ritmo actual de calentamiento global (Climate Bonds Initiative, World Resources Institute, & Climate Resilience Consulting, 2019).

Desarrollo humano y cambio climático

La crisis climática global plantea importantes interrogantes a los fundamentos centrales que han guiado el desarrollo humano desde el inicio de la modernidad (Caride Gómez & Meira Cartea, 2019). La CEPAL (2017) ha señalado que “el mundo puede quedar anclado a un estilo de desarrollo alto en carbono que llevará a aumentos de temperatura superiores al nivel acordado para la seguridad climática”. Por ello, es urgente replantear el paradigma del desarrollo actual por uno inclusivo y con visión de largo plazo, en el que los objetivos se centren en un desarrollo sostenible que cierre las brechas sociales y económicas de la desigualdad (Canaza-Choque, 2019; Torres-Porras & Arrebola, 2018).

Las metas del desarrollo humano integral están integradas de forma más o menos directa y detallada en los diecisiete objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y sus 169 metas (Rivera, 2020). De esta manera se constituyen en un importante referente para el diseño de políticas y estrategias de desarrollo durante los próximos años. Esto sin dejar de proponer y respetar límites seguros y justos de la Tierra que vayan más allá de los límites planetarios (figura 4; Richardson et al., 2023), que incluyan, además, una perspectiva de justicia distributiva y que sugieran transformaciones para lograrlos (Gómez-Lee, 2019; Gupta et al., 2023).

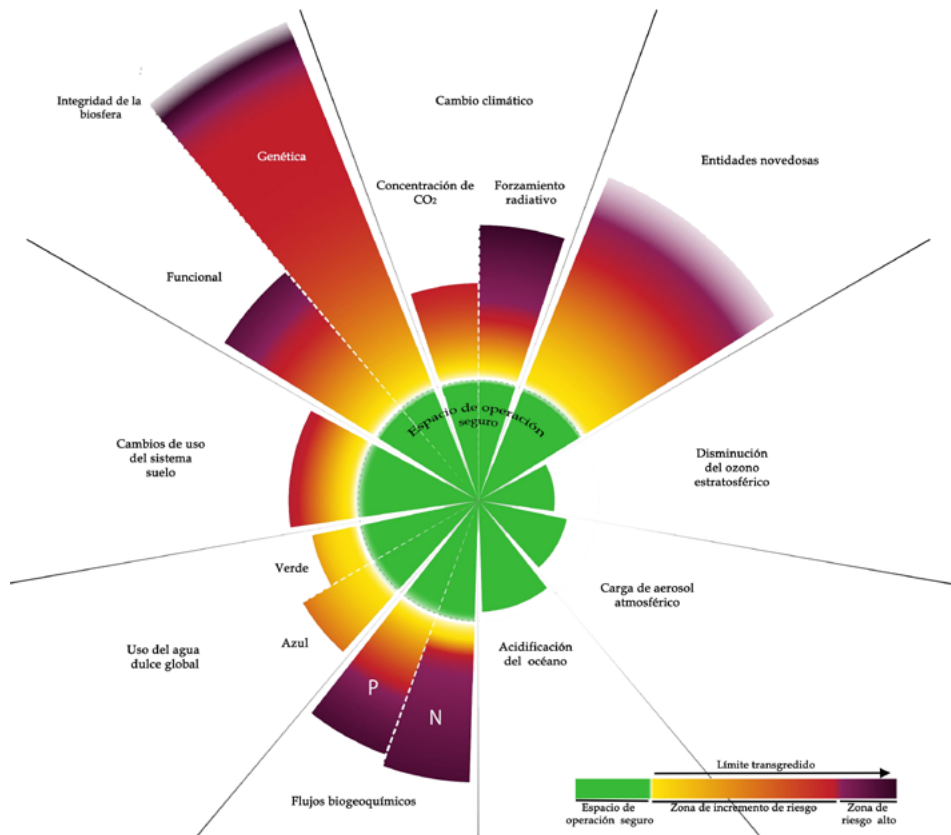
En el caso del desarrollo humano relacionado con el cambio climático, es muy importante considerar el establecimiento de políticas públicas nacionales acordes con las directrices internacionales, como es el caso del IPCC. Es indispensable realizar evaluaciones de vulnerabilidad ante el cambio climático en diferentes sectores, establecer medidas de mitigación de los gases de efecto invernadero, construir estrategias de adaptación para lograr la resiliencia. Estos aspectos se abordan de manera separada más abajo.

Vulnerabilidad al cambio climático

La vulnerabilidad es un componente del riesgo, pero también un enfoque importante de forma independiente. La vulnerabilidad se define como la propensión o predisposición a verse afectado negativamente. Abarca una variedad

de conceptos y elementos, incluida la exposición, la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la capacidad adaptativa (IPCC, 2014; IPCC, 2022). Por su parte, La Ley General de Cambio Climático en México la define como el nivel a que un sistema es susceptible o no es capaz de soportar los efectos adversos del Cambio Climático, incluida la variabilidad climática y los fenómenos extremos

Figura 4. Límites planetarios



Fuente: Elaboración propia. En la actualidad se han transgredido seis de los nueve límites planetarios. La línea base del Holoceno es el origen del diagrama. La longitud de las cuñas representa el estado actual del proceso, con relación al límite planetario (final de la zona verde) y el color simboliza los riesgos asociados a cada uno de los límites (Richardson et al., 2023).

Figura 5. Exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa como componentes de la vulnerabilidad



Fuente: Elaboración propia con base en INECC (2016).

(DOF, 2018). La vulnerabilidad está en función del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática a la que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación. La vulnerabilidad dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema, además de su sensibilidad y capacidad de adaptación (figura 5; Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2016).

La vulnerabilidad está en función del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática a la que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad adaptativa (DOF, 2018; INECC, 2016). Por consiguiente, la vulnerabilidad de un sistema se define por la siguiente ecuación:

$$V = E + S - CA$$

Donde:

V = Vulnerabilidad

E = Exposición

S = Sensibilidad

CA = Capacidad adaptativa

Evaluación de la vulnerabilidad

Los análisis de riesgos y vulnerabilidad climática permiten entender los riesgos actuales y futuros que hacen vulnerables a sistemas sociales y naturales de los estados en contextos de cambio climático. De esta manera, es posible establecer planes e inversiones que les permita fortalecer la resiliencia de su población, infraestructura y ecosistemas.

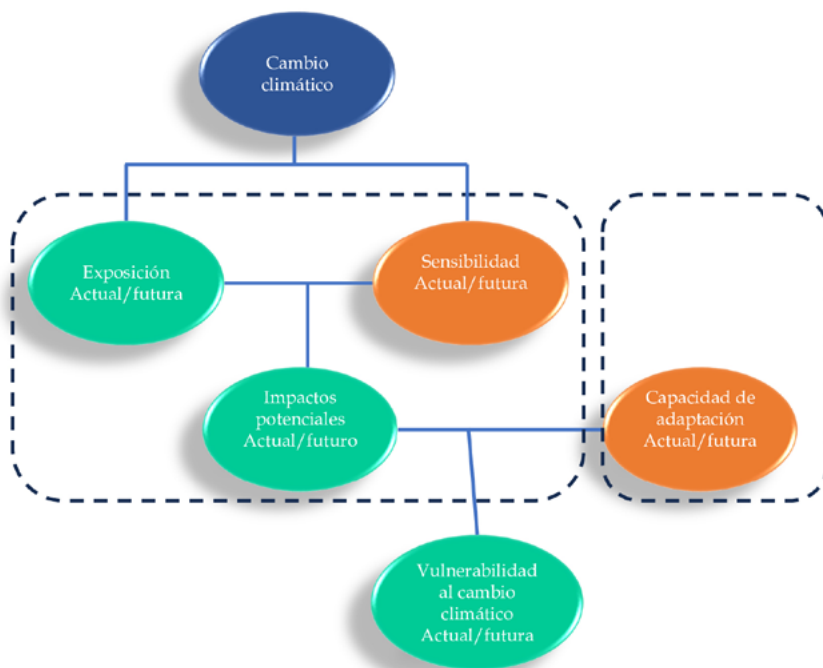
La vulnerabilidad es una función del carácter, la magnitud y la velocidad de la variación climática a la que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación. Está representada por una serie de variables socioeconómicas, políticas y ambientales que permiten establecer la sensibilidad y el grado de exposición de una población. Existen diferentes factores claves que permiten evaluar, mediante su análisis estadístico, el grado de vulnerabilidad, incluidos en categorías como economía, salud y nutrición, educación, infraestructura, gobernanza, geografía y demografía, agricultura y tecnología (Brooks et al., 2005). El concepto de vulnerabilidad constituye una herramienta analítica para describir el estado de susceptibilidad de los sistemas físicos o sociales que permite guiar un análisis de las posibles acciones a implementar para reducir el riesgo (Adger, 2006).

Para realizar la evaluación de la vulnerabilidad actual y futura, el INECC usa la metodología propuesta por el IPCC, que se retoma en la Ley General de Cambio Climático (DOF, 2018) y que considera que la vulnerabilidad está en función de la exposición, la sensibilidad y la capacidad adaptativa. La figura 6 muestra de manera gráfica el modelo de evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático.

Durante las últimas décadas, los enfoques para analizar y evaluar la vulnerabilidad han evolucionado. Un énfasis temprano en la evaluación biofísica de arriba hacia abajo de la vulnerabilidad incluía, y a menudo comenzaba con, la exposición a los peligros climáticos al evaluar la vulnerabilidad.

La evaluación de la vulnerabilidad requiere, en primera, instancia reconocer su importancia como elemento para estimar los impactos potenciales del cambio climático y la necesidad de cuantificarla mediante el análisis de datos. Posteriormente se debe de contar con el conocimiento adecuado sobre el objeto o sistema de estudio (por ejemplo, la vulnerabilidad ante fenómenos climáticos

Figura 6. Componentes de vulnerabilidad actual y futura



Fuente: Elaboración propia con base en INECC (2016).

extremos) y su dinámica, con la finalidad de establecer un modelo conceptual sobre su relación histórica con el clima que permita diagnosticar las causas de la vulnerabilidad y los factores que la caracterizan para construir proyecciones futuras (Magaña, 2013).

Es indispensable evaluar los posibles efectos que el cambio climático puede generar sobre diferentes sectores, lo que permitirá diseñar las acciones y estrategias de adaptación y mitigación que establezcan estrategias eficientes. Sin embargo, evaluar la vulnerabilidad no es una tarea sencilla porque en su cuantificación deben intervenir un gran conjunto de variables (Martínez-Bárceñas & Orozco-Medina, 2022). Para generar una aproximación a la evaluación de la vulnerabilidad, primeramente es necesario contestar tres preguntas básicas: ¿a qué se es vulnerable?, ¿qué o quién es vulnerable? y ¿por qué es vulnerable? Para contestar estas preguntas se requiere de la selección de los indicadores físicos, económicos y sociales adecuados, contruidos a partir de datos de censos regionales, nacionales o supranacionales para el sistema en estudio; estos indicadores permiten ordenar y sistematizar la información para la planificación, evaluación y toma de decisiones y construir un sistema de información para describir las características cuantitativas de un ámbito institucional, económico, geográfico, cultural o educativo (Magaña, 2013).

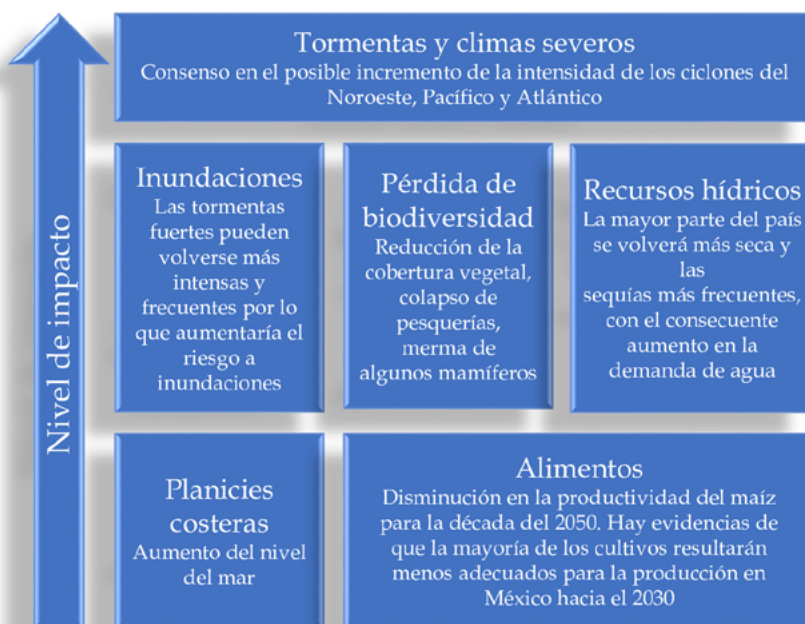
Es importante mencionar que la metodología para evaluar la vulnerabilidad dependerá del sector a evaluar. Por ejemplo, habrá metodologías para evaluar la vulnerabilidad del sector hídrico, de la biodiversidad, de alguna enfermedad o del sector alimentario, por mencionar algunos. Lo importante es identificar los sectores prioritarios y considerar que un estudio de vulnerabilidad es importante antes de establecer medidas de adaptación, tema que se aborda más adelante.

El análisis de la vulnerabilidad es el primer paso en el proceso de adaptación al cambio climático. Este permite identificar cuáles son las principales amenazas climáticas en el territorio, los problemas relacionados con estas y, sobre todo, determinar las causas subyacentes que pueden incrementar los impactos en la sociedad (INECC, 2019).

La vulnerabilidad en México

En el caso de México prevalecen condiciones de alta vulnerabilidad ante el cambio climático, dadas sus características geográficas, como su latitud, relieve y localización entre dos océanos, ya que es impactado por diferentes fenómenos hidrometeorológicos (INECC, 2019). Los impactos del cambio climático se distribuirán de una manera heterogénea en el país debido a los distintos tipos de clima, la distribución de los recursos naturales, la infraestructura instalada, el desarrollo económico y la concentración demográfica (figura 7; INECC, 2019; Sosa-Rodríguez, 2015).

Figura 7. Impactos proyectados del cambio climático en México



Fuente: Elaboración propia con base en INECC (2019).

Los huracanes, sequías, temperaturas extremas y lluvias torrenciales han ocasionado en el país graves pérdidas humanas y altos costos económicos y sociales. Esos eventos ponen en riesgo la vida de la población, su bienestar y patrimonio; comprometen la conservación de los ecosistemas, su biodiversidad y los servicios que estos proveen; también limitan las oportunidades de desarrollo en el corto y mediano plazo. Estas y otras consecuencias de los impactos del cambio climático han sido abordadas en diversos estudios científicos y documentos técnicos, en los cuales se sugiere que algunas de las consecuencias negativas de la variabilidad climática son ya visibles y podrían agravarse durante las próximas décadas. Asimismo, el impacto agregado de los eventos extremos, resultado del cambio climático, puede intensificar otros problemas ambientales y sociales, como el cambio del uso de suelo, la forma y estructura de los asentamientos urbanos, los procesos productivos o el estado de los ecosistemas (INECC, 2019).

Con base en diversas investigaciones sobre el tema de vulnerabilidad y las predicciones científicas, el fenómeno del cambio climático y la exacerbación del efecto invernadero provocaran que amplias extensiones geográficas localizadas en zonas costeras sufran inundaciones a causa del incremento del nivel del mar o bien, afectadas por intensas sequías o precipitaciones torrenciales. Debido a su situación social, económica, institucional y geográfica, México es altamente sensible a los efectos del cambio climático y otros fenómenos meteorológicos extremos (Brodziak et al., 2011).

El Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (ANVCC) en México (INECC, 2019) se llevó a cabo incluyendo los siguientes componentes: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa (ver figuras 1 y 2). En su elaboración se tomó en cuenta la dinámica territorial por medio de criterios funcionales. La evaluación se hizo de acuerdo con los principios del análisis multicriterio y las representaciones de los resultados permitieron la comparación en los ámbitos nacional, regional y estatal (figura 8).

La unidad de agregación que se definió en cada problemática dependió de sus características territoriales. Por ejemplo, la figura 9 muestra los resultados de los estudios de seis vulnerabilidades específicas: vulnerabilidad de asentamientos humanos a deslaves, inundaciones y al incremento potencial de

enfermedades transmitidas por vector (dengue); vulnerabilidad de la producción ganadera a estrés hídrico e inundaciones, y vulnerabilidad de la producción forrajera a estrés hídrico. Todas ellas se realizaron a nivel municipal.

México sufre los efectos del cambio climático de manera particular debido a su localización geográfica al sur del hemisferio septentrional y su ubicación entre los océanos Pacífico y Atlántico. Con base en los escenarios de cambio climático para el periodo comprendido de 2015 a 2039 se estiman incrementos de temperaturas anuales de 2 °C en la zona norte y una oscilación de 1 °C a 1.5 °C para el resto del país. Mientras que para la precipitación se proyecta una disminución general del 10 % al 20 % (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]-INECC, 2018).

Vulnerabilidad en sectores clave

Las evaluaciones de vulnerabilidad han sido ampliamente utilizadas para comprender los riesgos que supone el cambio climático e identificar las oportunidades para la adaptación. De acuerdo con la Sexta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, en México (SEMARNAT-INECC, 2018):

1. 20 % de los municipios del país distribuidos en trece entidades federativas se encuentran en estado de vulnerabilidad al cambio climático.

Figura 8. Proceso de construcción de las vulnerabilidades al cambio climático en el ANVCC



Fuente: INECC (2019).

- Chiapas, Guerrero y Oaxaca serán los estados más vulnerables, además de ser los estados menos desarrollados y con mayor nivel de analfabetismo.
2. Vulnerabilidad a deslaves: municipios de Durango, Oaxaca y Guerrero.
 3. Vulnerabilidad en asentamientos humanos por inundaciones: 283 municipios de Yucatán, Tabasco y Chiapas (4 millones de personas).
 4. Dengue: zonas costeras del sur y sureste del país.

Para el caso de la pobreza, el cambio climático resulta un factor importante que dificultará el combate a la pobreza debido a sus impactos en la producción agrícola, la seguridad alimentaria, los ecosistemas y la salud humana, entre otros. Se estima que, debido a este fenómeno, para 2030 más de cien millones de personas a nivel mundial podrían vivir en estado de pobreza (Hallegatte et al., 2015).

Para el caso de la vulnerabilidad ante el cambio climático en razón de género, resulta de la combinación de diversas desigualdades. En el caso de las mujeres se expresa en la brecha salarial, los derechos de propiedad, la división sexual del trabajo, el acceso a servicios, la violencia en conflictos y desastres, entre otros.

Los párrafos anteriores constituyen algunos ejemplos de la vulnerabilidad de sectores específicos en México, pero para más información, consultar a SEMARNAT-INECC (2018) e INECC (2019).

Adaptación

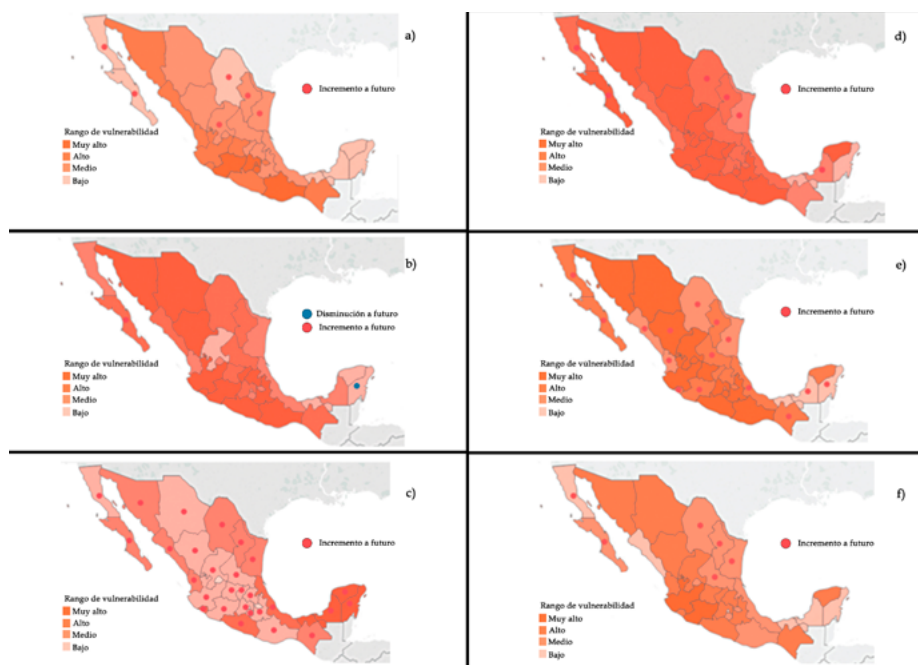
La Ley General de Cambio Climático define a la adaptación como el conjunto de medidas y ajustes en sistemas humanos o naturales, como respuesta a estímulos climáticos, proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño, o aprovechar sus aspectos beneficiosos (DOF, 2018). Por su parte, el IPCC la define como “las iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales o esperados de un cambio climático” (INECC, 2019).

Es fundamental seguir reduciendo las emisiones de GEI, por lo que la adaptación al cambio climático se ha puesto como una alternativa o estrategia

complementaria y necesaria a la mitigación. En este sentido, es urgente contar con estrategias de adaptación, especialmente en países de desarrollo, los cuales son los más vulnerables ante los efectos del cambio climático (Castellanos & Guerra, 2009).

Para identificar las necesidades y opciones de adaptación y construir capacidades es preciso contar con información apropiada sobre el riesgo y la vulnerabilidad. Gran parte de los estudios destinados a identificar las necesidades de adaptación se han basado en el análisis del riesgo climático

Figura 9. Vulnerabilidad al cambio climático



Fuente: *a)* De los asentamientos humanos por inundaciones; *b)* de los asentamientos humanos por deslaves; *c)* de la población al incremento en la distribución potencial del dengue; *d)* de la producción forrajera ante estrés hídrico; *e)* de la producción ganadera ante estrés hídrico, y *f)* de la producción ganadera por inundaciones (INECC, 2019).

centrándose en las causantes de los impactos (lluvias, temperaturas, huracanes) y las opciones para moderarlos. Sin embargo, existen causas subyacentes de la vulnerabilidad (o determinantes socioeconómicos) como la disponibilidad de información y el acceso a la misma, el acceso a los recursos la capacidad financiera, las capacidades institucionales y las necesidades tecnológicas que consisten una parte esencial de las necesidades de adaptación (Magrin, 2015).

En México, a partir del ANVCC (INECC, 2019) se han identificado los sectores y municipios con mayor vulnerabilidad. Con base en dichos resultados, se han establecido medidas de adaptación, mismas que se encuentran establecidas en la Primera Comunicación sobre la Adaptación de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (INECC, 2022). De acuerdo con esta comunicación, las prioridades de adaptación al cambio climático en México son:

1. Prevención y atención de impactos negativos en la población humana y en el territorio.
2. Sistemas productivos resilientes y seguridad alimentaria.
3. Conservación, restauración y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos.
4. Gestión integral de los recursos hídricos con enfoque de cambio climático.
5. Protección de infraestructura estratégica y del patrimonio cultural tangible.

Cada una de estas prioridades es el resultado de investigación científica prioritaria, cuyos resultados se describen en INECC (2022).

Por otro lado, Noble et al. (2014) mencionan cinco categorías principales de las necesidades de adaptación:

1. Físicas y ambientales.
2. Sociales.
3. Institucionales.
4. Involucrar al sector privado.
5. Información, capacitación y recursos.

Para el proceso de identificación y elaboración de las medidas de adaptación, Lamhauge et al. (2012) recomienda tener en cuenta cinco principios orientadores:

1. *Reducción del riesgo climático*: es el conjunto de acciones encaminadas a reducir la vulnerabilidad de manera directa.
2. *Manejo político-administrativo del tema del cambio climático*: son las leyes, normas, ordenanzas y políticas que contemplan o integran el tema del cambio climático a nivel de estado-nación.
3. *Educación, capacitación y concientización*: son todas aquellas acciones informativas y de capacitación en la temática del cambio climático encaminadas al diseño e implementación de medidas de adaptación pertinentes.
4. *Investigación en impactos y escenarios climáticos*: se refiere a la investigación científica que genera conocimiento acerca del cambio climático y proveen de herramientas de análisis, monitoreo y predicción.
5. *Coordinación intersectorial e interinstitucional*: estas medidas facilitan una estructura de coordinación con un enfoque participativo para el diseño e implementación de las acciones de adaptación al fenómeno del cambio climático.

En México, los instrumentos rectores de la política nacional en materia de cambio climático son: la Ley General de Cambio Climático, la Estrategia Nacional de Cambio Climático y el Programa Especial de Cambio Climático.

La Ley General de Cambio Climático establece, entre otros aspectos, que los objetivos de la política nacional en materia de adaptación sean (DOF, 2018):

- Reducir la vulnerabilidad de la sociedad y los ecosistemas frente a los efectos del cambio climático.
- Fortalecer la resiliencia y resistencia de los sistemas naturales y humanos.

En concordancia con lo anterior, la Estrategia Nacional de Cambio Climático establece tres ejes estratégicos en materia de adaptación (SEMARNAT, 2013):

1. Reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia del sector social ante los efectos del cambio climático.
2. Reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de la infraestructura estratégica y sistemas productivos ante los efectos del cambio climático.
3. Conservar y usar de forma sustentable los ecosistemas y mantener los servicios ambientales que proveen.

Mientras que el Programa Especial de Cambio Climático contempla objetivos relacionados con la adaptación al cambio climático (DOF, 2021), que son los siguientes:

1. Disminuir la vulnerabilidad al cambio climático de la población, los ecosistemas y su biodiversidad, así como de los sistemas productivos y de la infraestructura estratégica mediante el impulso y fortalecimiento de los procesos de adaptación y el aumento de la resiliencia.
2. Reducir las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero a fin de generar un desarrollo con bienestar social, bajo en carbono y que proteja la capa de ozono, basado en el mejor conocimiento científico disponible.
3. Impulsar acciones y políticas sinérgicas entre mitigación y adaptación que atiendan la crisis climática, priorizando la generación de beneficios ambientales, sociales y económicos.
4. Fortalecer los mecanismos de coordinación, financiamiento y medios de implementación entre órdenes de gobierno para la instrumentación de la

política de cambio climático, priorizando la cocreación de capacidades e inclusión de los distintos sectores de la sociedad, con enfoque de derechos humanos.

Las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y su Acuerdo de París reconocen que la adaptación es un desafío mundial al que se enfrentan todos los que tienen dimensiones locales, subnacionales, nacionales, regionales e internacionales. Proteger a las personas, los medios de subsistencia y los ecosistemas es un componente clave de la respuesta mundial a largo plazo al cambio climático. Las partes reconocen que las medidas de adaptación deben seguir un enfoque participativo, plenamente transparente, dirigido por los países, que tenga en cuenta las cuestiones de género y a los grupos, comunidades y ecosistemas vulnerables, además de que se base en la mejor ciencia disponible y, según proceda, en los conocimientos tradicionales, los conocimientos de los pueblos indígenas y los sistemas de conocimientos locales. Añadido a lo anterior, estas medidas también deben de ser guiadas por estos grupos, con miras a integrar la adaptación en las políticas y medidas socioeconómicas y ambientales pertinentes (United Nations Climate Change [UNFCCC], 2023).

La UNFCCC ha establecido una metodología para que los países participantes puedan diseñar e implementar sus estrategias de adaptación. Esta metodología se muestra en la figura 10. En ella puede observarse el ciclo de adaptación bajo el régimen de cambio climático de la ONU, e incluye cuatro componentes generales que son: evaluación de la vulnerabilidad y sus riesgos, elaboración del plan de adaptación, la aplicación de las medidas de adaptación y la supervisión y evaluación de las estrategias de adaptación implementadas.

Actualmente existe un amplio portafolio de opciones de adaptación. Estas medidas contribuirían a reducir o compensar algunos de los efectos más nocivos del cambio climático. Las opciones incluyen diversas medidas de adaptación para el sector agrícola, hídrico, el sector salud, la biodiversidad, la protección ante los eventos climáticos extremos y las zonas costeras. Asimismo, existen medidas con importantes beneficios como el fomento a la eficiencia energética y la reducción de la contaminación del aire. Estas medidas de adaptación pueden, además,

inducirse a través de diversos factores donde la política pública puede incidir, como mayor educación ambiental, participación en programas gubernamentales o capital social. En este sentido, una estrategia de adaptación apropiada es una parte fundamental de la estrategia de desarrollo sostenible (CEPAL, 2014).

Mitigación

En el contexto internacional, se han aplicado acciones encaminadas a controlar el aumento de la temperatura mundial por debajo de los 2 °C, en base de lo planteado en el Acuerdo de París y la consecuente Agenda 2030. El cumplimiento de la meta de 1.5 °C implica que a nivel mundial se alcance la neutralidad de emisiones de GEI hacia el año 2050. Al lograr este nivel de mitigación se podrán reducir los riesgos climáticos potenciales a los que están expuestos cientos de

Figura 10. Ciclo de adaptación bajo el régimen de cambio climático de la ONU



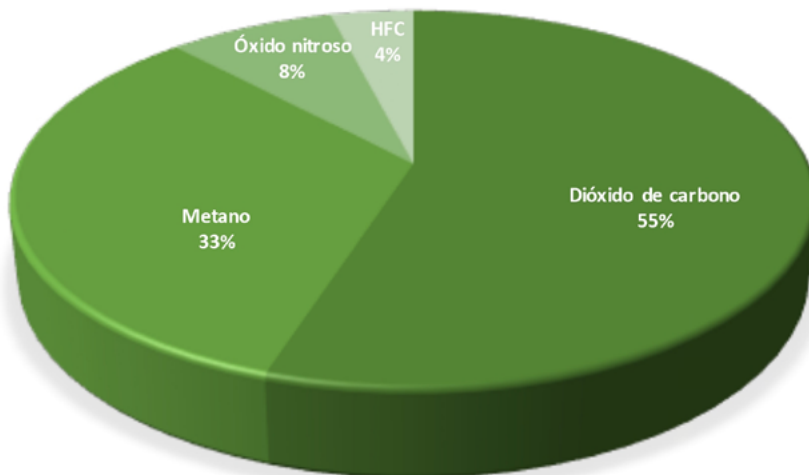
Fuente: UNFCCC (2023).

millones de individuos, principalmente de las regiones más pobres, además de proteger diversos ecosistemas en riesgo de extinguirse (IPCC, 2018).

Las emisiones de GEI totales del país, de acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2019, se situaron en 736.6 millones de toneladas de CO₂ equivalente en el año 2019, lo que representa un aumento del 57.7 % con respecto a 1990. El principal motor del crecimiento de las emisiones es el consumo de combustibles fósiles para transporte y la generación de electricidad, seguido de actividades como la ganadería y la industria del petróleo y el gas.

El comportamiento de los GEI por emisión de gas se muestra en la figura 11. De esta figura se desprenden los siguientes datos:

Figura 11. Emisión de gases de efecto invernadero en el año 2019 en México



Fuente: SEMARNAT-INECC (2022).

1. El dióxido de carbono (CO_2), que es el principal GEI en el país, muestra un comportamiento decreciente (disminución de 7.56 % con respecto a 1990); presenta un pico máximo en 2016 y un crecimiento más desacelerado durante los diez últimos años. Esta tendencia al alza obedece principalmente al aumento de la demanda energética del país y al uso de vehículos de autotransporte.
2. Las emisiones de metano (CH_4) se producen principalmente por la fermentación entérica y manejo de excretas del ganado, las emisiones fugitivas de petróleo y gas, la disposición final de residuos sólidos y el tratamiento y eliminación de aguas residuales. Durante la serie histórica, las emisiones de este contaminante han tenido una tendencia de crecimiento (48.4 % con respecto a 1990), aunque este ha sido menos pronunciado que el del CO_2 .
3. Las emisiones de óxido nitroso (N_2O) se deben principalmente al uso de fertilizantes, al manejo de excretas y al tratamiento y eliminación de aguas residuales. Al igual que el metano, este gas ha tenido un crecimiento moderado (45.35 % de incremento con respecto a 1990) y menor que el del CO_2 .
4. Los hidrofluorocarbonos (HFC) presentaron en 2019 un crecimiento de 2757 % con respecto a 1990 debido principalmente al aumento del uso de sistemas de refrigeración y aires acondicionados.

Por lo tanto, las estrategias de mitigación son por demás importantes. La mitigación se define como toda intervención antropogénica que reduce las fuentes o aumenta los sumideros de GEI en la atmósfera (Ortiz-Hernández et al., 2013). La Ley General de Cambio Climático en México la define como una aplicación de políticas y acciones destinadas a reducir las emisiones de las fuentes, o mejorar los sumideros de gases y compuestos de efecto invernadero (DOF, 2018).

La mitigación busca establecer acciones para reducir la vulnerabilidad, es decir, la implementación de cualquier política, estrategia o acción que disminuya las emisiones de GEI (Schneider et al., 2010). Las medidas de mitigación

ejercen su influencia de forma global, ya que en todo el planeta la reducción de las emisiones impacta sobre el cambio climático.

La política nacional en México está encaminada a establecer planes, programas, acciones, instrumentos económicos, de política y regulatorios para el logro gradual de metas de reducción de emisiones específicas, por sectores, considerando las contribuciones determinadas a nivel nacional para el cumplimiento de los objetivos del Acuerdo de París, el acceso a recursos financieros, la transferencia de tecnología y el desarrollo de capacidades, así como cualquier otro tratado internacional suscrito por el Estado mexicano en materia de cambio climático (DOF, 2018).

A nivel nacional, la Estrategia Nacional de Cambio Climático establece ejes estratégicos y elementos de política para la mitigación de emisiones, las cuales son las siguientes (SEMARNAT, 2013):

- M1. Acelerar la transición energética hacia fuentes de energía limpia.
- M2. Reducir la intensidad energética mediante esquemas de eficiencia y consumo responsable.
- M3. Transitar a modelos de ciudades sustentables con sistemas de movilidad, gestión integral de residuos y edificaciones de baja huella de carbono.
- M4. Impulsar mejores prácticas agropecuarias y forestales, propiciando la creación de sumideros de carbono.
- M5. Reducir emisiones de contaminantes climáticos de vida corta, propiciando cobeneficios de salud y bienestar.

La Ley General de Cambio Climático en México establece diferentes objetivos para la mitigación de la emisión de GEI, que son los siguientes:

1. Promover la protección del medio ambiente, el desarrollo sustentable y el derecho a un medio ambiente sano a través de la mitigación de emisiones.
2. Reducir las emisiones nacionales, a través de políticas y programas, que fomenten la transición a una economía sustentable, competitiva y de

bajas emisiones en carbono, incluyendo instrumentos de mercado, incentivos y otras alternativas que mejoren la relación costo-eficiencia de las medidas específicas de mitigación, disminuyendo sus costos económicos y promoviendo la competitividad, la transferencia de tecnología y el fomento del desarrollo tecnológico.

3. Promover de manera gradual la sustitución del uso y consumo de los combustibles fósiles por fuentes renovables de energía, así como la generación de electricidad a través del uso de fuentes renovables de energía.
4. Promover prácticas de eficiencia energética, el desarrollo y uso de fuentes renovables de energía y la transferencia y desarrollo de tecnologías bajas en carbono, particularmente en bienes muebles e inmuebles de dependencias y entidades de la administración pública federal centralizada y paraestatal, de las entidades federativas y de los municipios.
5. Promover de manera prioritaria, tecnologías de mitigación cuyas emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero sean bajas en carbono durante todo su ciclo de vida.
6. Promover la alineación y congruencia de los programas, presupuestos, políticas y acciones de los tres órdenes de gobierno para frenar y revertir la deforestación y la degradación de los ecosistemas forestales.
7. Medir, reportar y verificar las emisiones.
8. Reducir la quema y venteo de gas para disminuir las pérdidas en los procesos de extracción y en los sistemas de distribución y garantizar al máximo el aprovechamiento del gas en instalaciones industriales, petroleras, gaseras y de refinación.
9. Promover el aprovechamiento del gas asociado a la explotación de los yacimientos minerales de carbón.
10. Promover la cogeneración eficiente para evitar emisiones a la atmósfera.
11. Promover el aprovechamiento del potencial energético contenido en los residuos.
12. Promover el incremento del transporte público, masivo y con altos estándares de eficiencia, privilegiando la sustitución de combustibles

fósiles y el desarrollo de sistemas de transporte sustentable urbano y suburbano, público y privado.

13. Desarrollar incentivos económicos y fiscales para impulsar el desarrollo y consolidación de industrias y empresas socialmente responsables con el medio ambiente.
14. Promover la canalización de recursos internacionales y recursos para el financiamiento de proyectos y programas de mitigación de gases y compuestos efecto invernadero en los sectores público, social y privado.
15. Promover la participación de los sectores social, público y privado en el diseño, la elaboración y la instrumentación de las políticas y acciones nacionales de mitigación.
16. Promover la competitividad y crecimiento para que la industria nacional satisfaga la demanda nacional de bienes, evitando la entrada al país de productos que generan emisiones en su producción con regulaciones menos estrictas que las que cumple la industria nacional.

Como puede observarse, existen políticas públicas que establecen diferentes medidas de mitigación de la emisión de los gases de efecto invernadero. Con la aplicación de dichas medidas, se contribuye al cumplimiento del objetivo 13 de la agenda 2030, acción por el clima.

Resiliencia

Es la capacidad de los sistemas naturales o sociales para recuperarse o soportar los efectos derivados del cambio climático (DOF, 2018). Las poblaciones indígenas y campesinas están particularmente expuestas a los impactos del cambio climático y son más vulnerables debido a sus estilos de vida, ligados a los recursos naturales en ecosistemas marginales. La mayoría de estas poblaciones están respondiendo a las variaciones climáticas y demostrando resiliencia frente al cambio climático (Altieri & Nicholls, 2013).

A continuación se mencionan características que son ampliamente citadas como contribuyentes a los sistemas resilientes (PermaCultura-es, 2010; Tyler & Moench, 2012):

- *Flexibilidad o diversidad*: La capacidad de realizar tareas esenciales bajo una amplia gama de condiciones, así como a la diversidad de posibles respuestas frente a los retos, lo cual puede generar una mayor flexibilidad o pueden introducir nuevas formas de hacerlo.
- *Redundancia o modularidad*: Se refiere a la manera en que los componentes de un sistema están conectados entre ellos. Tener una estructura modular significa que las diferentes partes de un sistema pueden autoorganizarse más eficazmente en la eventualidad de un choque.
- *Fracaso seguro*: Capacidad para absorber choques repentinos o los efectos acumulativos de estrés de lenta aparición para evitar una catástrofe.

Los orígenes del término resiliencia insinúan fuerza y resistencia, pero en sus aplicaciones más recientes en ecología, sistemas socioecológicos y gestión de desastres se entiende que la resiliencia exige flexibilidad, aprendizaje y cambios (Adger et al., 2006).

Para reducir el riesgo es fundamental incrementar la resiliencia de la base de recursos naturales y promover prácticas ambientales y de ordenación de los recursos naturales acertadas, como el uso sostenible de los ecosistemas.

La resiliencia de un sistema complejo es difícil de evaluar anticipadamente porque no es una función simple de las características individuales del sistema, sino más bien una propiedad emergente de las interacciones entre los elementos del sistema a lo largo del tiempo. Si ocurre un evento extremo o un estrés, la resiliencia de un sistema se puede determinar comparando el estado y funcionamiento del sistema antes y después del impacto, aunque tampoco aporta mucho para la evaluación o las recomendaciones.

De acuerdo con UNDP (2022a), para construir estrategias resilientes se pueden identificar aquellas poblaciones que, en el pasado, han tenido éxito frente al cambio climático, lo que significa que evitaron pérdidas demográficas graves y

sostenidas. Este enfoque puede enfatizar tanto la diversidad de respuestas resilientes al cambio climático pasados, como la existencia de estrategias compartidas que pueden apoyar a la política climática actual. Se han documentado al menos cinco vías, mismas que se observan en la tabla 2 y en la figura 12.

Tabla 2. Estrategias ante el cambio climático que diferentes poblaciones han aplicado en el pasado

Vía	Descripción
Identificar nuevas oportunidades en entornos locales y regionales.	Las poblaciones que siguieron esta vía explotaron entornos regionales o locales, respondiendo a los impactos del cambio climático global o hemisférico, de manera que, por su organización, obtuvieron beneficios de diferente índole.
Mantener o desarrollar sistemas energéticos resilientes.	Implica desarrollar o explotar sistemas energéticos para el transporte, la industria y la subsistencia humana que no respondan directamente a los cambios de temperatura o precipitación.
Aprovechar diversos recursos a través del comercio.	Las poblaciones explotaron los beneficios del comercio, nacional e internacional, para hacer frente al cambio climático. El clima rara vez afecta a diferentes regiones de manera simultánea o igual. Por lo tanto, el comercio permitió que las poblaciones prosperaran a pesar de las anomalías climáticas mediante la importación de productos básicos que estaban menos disponibles localmente, debido en parte al clima extremo.
Adaptar las instituciones a los nuevos riesgos climáticos.	Esta vía trata de lograr adaptaciones políticas e institucionales que fomentaron la resiliencia a los fenómenos meteorológicos extremos.
Migrar a nuevos entornos.	Las migraciones se han dado para escapar o explotar los impactos del cambio climático en entornos locales.

Fuente: Elaboración propia con datos de la UNEP (2022).

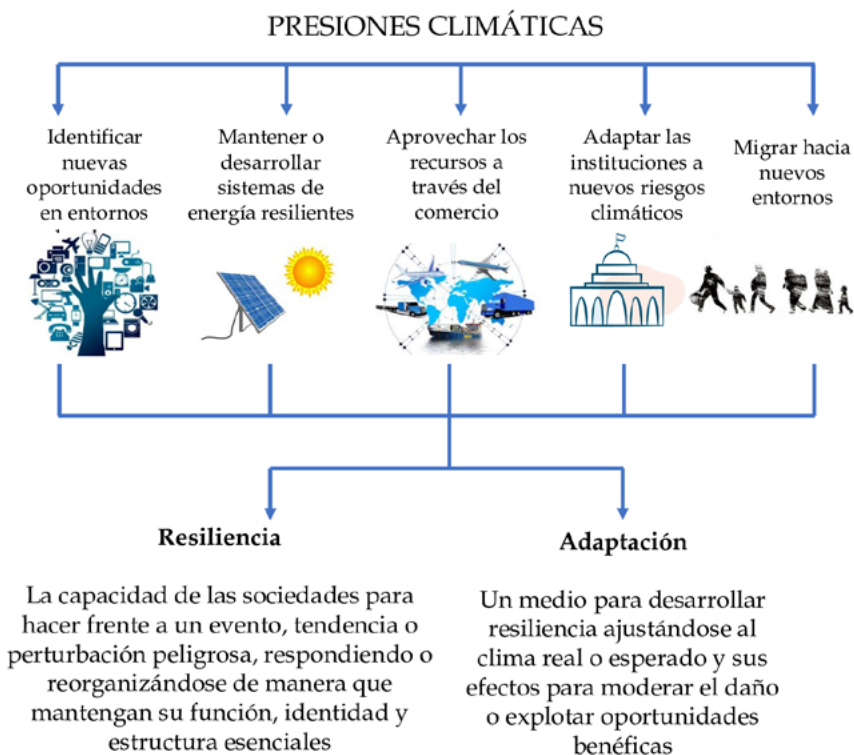
Estas estrategias pudieron haber sido aprovechadas de manera individual o combinadas, además de que una sola población pudo haber seguido diferentes caminos. Por lo tanto, ¿es posible que al diseñar políticas públicas relativas

al cambio climático se pueda aprender de las diversas experiencias del pasado para desarrollar resiliencia al calentamiento global actual causado por el ser humano?

En el contexto actual de una economía globalizada se reconoce que los impactos del cambio climático responden a acuerdos multilaterales de tipo socioeconómico, cultural y político. Por ello, es evidente que las poblaciones están sometidas a un destino común.

No obstante, en los diferentes escenarios de emisiones, excluyendo los más extremos, se tiene un margen importante que permite la adaptación de la

Figura 12. Vías para transitar hacia la adaptación y resiliencia



Fuente: Elaboración propia con datos de ONU (2022).

humanidad y su posible prosperidad. Las adaptaciones que generan resiliencia incluyen las oportunidades que el fenómeno del calentamiento global proporciona; la transición energética encaminada a mitigar las emisiones, este proceso debe contemplar su resiliencia a condiciones climáticas extremas; la diversificación energética y de productos básicos, y la flexibilización de esquemas políticos y sociales que faciliten la migración climática.

Además, se puede fomentar la resiliencia al calentamiento global mediante la promoción de la justicia ambiental, principalmente enfocada a las poblaciones marginadas mediante políticas que aborden de manera particular la desigualdad y la pobreza.

Consideraciones finales

En el contexto de la mayor crisis sistémica de la historia de la humanidad (Leff, 2020), el cambio climático ha desencadenado un conjunto de alteraciones globales que obliga a políticos, científicos, instituciones y la sociedad civil a generar respuestas ante este gran reto que enfrenta la humanidad en el siglo XXI (Caride Gómez & Meira Cartea, 2019; Canaza-Choque, 2019). En este sentido, Fuentes (2023) señala que “como se decante esta crisis determinará el rumbo de la humanidad y del mundo en los siguientes siglos”. Es importante señalar que, al momento actual, la política climática mundial en poco ha estimado los aspectos éticos y sociales del calentamiento global y ha evidenciado su ineficacia (Caride Gómez & Meira Cartea, 2019). En este contexto, la ONU (2022) advierte que las múltiples crisis que vive el planeta están frenando los progresos en el desarrollo humano, retrocede en la inmensa mayoría de los países. El IDH disminuyó a nivel mundial durante dos años consecutivos.

Las presiones que los seres humanos ejercemos sobre la Tierra han crecido de manera exponencial en los últimos cien años y el planeta ha entrado en una época geológica completamente nueva: el Antropoceno. De esta manera, la próxima frontera del desarrollo humano consistirá en promover este desarrollo, eliminando las presiones planetarias y su complejo de incertidumbre (PNUD, 2020).

La atención de los diferentes aspectos que conduzcan a la mitigación y adaptación ante el cambio climático son razones convincentes para sugerir estrategias para el desarrollo humano sostenible en las próximas décadas.

Referencias

- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 268-281. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8(1), 7-20. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182921>
- Brodziak, F., García, A. L., & Chow, L. G. (2011). *Climate change impacts on socio-environmental conflicts: Vulnerability in facing climate change and social conflicts in Mexico*. Initiative for Peacebuilding.
- Brooks, N., Adger, W. N., & Kelly, P. M. (2005). The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change*, 15(2), 151-163. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.006>
- Canaza-Choque, F. A. (2019). De la educación ambiental al desarrollo sostenible: desafíos y tensiones en los tiempos del cambio climático. *Revista de Ciencias Sociales*, (165), 155-172. <https://doi.org/10.15517/rcs.v0i165.40070>
- Caride Gómez, J. A., & Meira Cartea, P. Á. (2019). Educación, ética y cambio climático. *Innovación Educativa*, (29), 61-76. <https://doi.org/10.15304/ie.29.6336>
- Castellanos, E., & Guerra, A. (2009). *El cambio climático y sus efectos sobre el desarrollo humano en Guatemala*. PNUD.
- Climate Bonds Initiative, World Resources Institute, & Climate Resilience Consulting. (2019). *Principios de Resiliencia Climática, Marco para evaluar las inversiones en resiliencia climática*. Climate Bonds Initiative.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2014). *Procesos de adaptación al cambio climático Análisis de América Latina*. Luis Miguel Galindo, Joseluis Samaniego, José Eduardo Alatorre, Jimmy Ferrer Carbonell (Eds.). CEPAL.

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2017). *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Síntesis 2016: una visión gráfica*. Naciones Unidas.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe, & Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos. (2019). *Cambio climático y derechos humanos: contribuciones desde y para América Latina y el Caribe* (Documento de investigación No. LC/TS.2019/94/Corr.1). CEPAL. <https://hdl.handle.net/11362/44970>
- Consejo de Derechos Humanos. (2016). *Informe del Relator Especial sobre la cuestión de las obligaciones de derechos humanos relacionadas con el disfrute de un medio ambiente sin riesgos, limpio, saludable y sostenible* (Informe No. A/HRC/31/52). Asamblea General de las Naciones Unidas.
- Cuéllar Saavedra, Ó. y Moreno Armella, F. (2009). Del crecimiento económico al desarrollo humano. Los cambiantes usos del concepto de desarrollo en América Latina, 1950-2000. *Sociológica*, 24(70), 83-114.
- Diario Oficial de la Federación. (2018, 13 de julio). *Ley General de Cambio Climático*.
- Diario Oficial de la Federación. (2021, 8 de noviembre). *Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024*.
- Fuentes, G. J. (2023). *Alternativas en tiempos de crisis civilizatoria*. Universidad Iberoamericana Ciudad de México.
- Gómez-Lee, M. I. (2019). Agenda 2030 de desarrollo sostenible: comunidad epistémica de los límites planetarios y cambio climático. *Opera*, (24), 69-93. <https://doi.org/10.18601/16578651.n24.05>
- Gupta, J., Liverman, D., Prodani, K., Aldunce, P., Bai, X., Broadgate, W., Ciobanu, D., Gifford, L., Gordon, C., Hurlbert, M., Inoue, C. Y. A., Jacobson, L., Kanie, N., Lade, S. J., Lenton, T. M., Obura, D., Okereke, C., Otto, I. M., Pereira, L., ... Verburg, P. H. (2023). Earth system justice needed to identify and live within Earth system boundaries. *Nature Sustainability*, 6, 630-638. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01064-1>
- Hallegatte, S., Bangalore, M., Bonzanigo, L., Fay, M., Kane, T., Narloch, U., Rozenberg, J., Treguer, D., & Vogt-Schilb, A. (2015). *Shock Waves: Managing the Impacts of Climate Change on Poverty*. World Bank Publications.

- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2016). *La vulnerabilidad al cambio climático*. <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/vulnerabilidad-al-cambio-climatico-80125>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2019). *Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático México* (1.ª ed.). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC_LibroDigital.pdf
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2022). *Primera Comunicación sobre la Adaptación de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. INECC-NAP Global Network.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability: Vol. 1. Global and Sectoral Aspects*. C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, & L. L. White (Eds.). Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, & T. Waterfield (Eds.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157940>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama (Eds.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). Sections. En Core Writing Team, H. Lee, & J. Romero (Eds.), *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 35-115). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Lamhauge, N., Lanzi, E., & Agrawala, S. (2012). *Monitoring and evaluation for adaptation: Lessons from development co-operation agencies* (Documento de trabajo No. 38). OECD. <https://doi.org/10.1787/19970900>
- Leff, E. (2020). A cada quien su virus. La pregunta por la vida y el porvenir de una democracia viral. *Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña*, 10(Supl. 1), 139-177.
- Magaña, V. (2013). *Guía metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad ante Cambio Climático*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, SEMARNAT.
- Magrin, G. O. (2015). *Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe*. CEPAL.
- Martínez Bárcenas, A., & Orozco Medina, I. (2022). Metodología para evaluar la vulnerabilidad de sistemas hidrológicos ante los potenciales efectos del cambio climático. *Acta Universitaria*, 32, 1-15. <https://doi.org/10.15174/au.2022.3426>
- Noble, I. R., Huq, S., Anokhin, Y. A., Carmin, J., Goudou, D., Lansigan, F. P., Osman-Elasha, B., & Villamizar, A. (2014). Adaptation needs and options. En C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, & L. L. White (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability* (pp. 833-868). Cambridge University Press.
- Organización de las Naciones Unidas. (2022, 8 de septiembre). El desarrollo con rostro humano se está quedando rezagado en el 90 % de los países. *Noticias ONU*. <https://news.un.org/es/story/2022/09/1514081>
- Ortiz-Hernández, M. L., Sánchez-Salinas, E., Castrejón-Godínez, M. L., Terrazas Hoyos, H., Rodríguez Solís, A. J., Quiroz-Castañeda, R. E., &

- Lara Manrique, J. C. (2013). *Morelos frente al cambio climático. Análisis y perspectivas*. UAEM.
- PermaCultura-es. (2010). *¿Qué es la resiliencia?*
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2020). *Informe sobre desarrollo humano 2020. La próxima frontera: desarrollo humano y el Antropoceno*. <https://hdr.undp.org/system/files/documents/global-report-document/hdr2020spinformesobredesarrollohumano2020.pdf>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2022a). *Informe sobre desarrollo humano 2021/2022. Tiempos inciertos, vidas inestables: configurar nuestro futuro en un mundo en transformación*. <https://hdr.undp.org/system/files/documents/global-report-document/hdr2021-22overviewspdf>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2022b). *Informe de desarrollo humano municipal 2010-2020: Una década de transformaciones locales para el desarrollo de México*. <https://www.undp.org/es/mexico/publicaciones/informe-de-desarrollo-humano-municipal-2010-2020-un-a-decada-de-transformaciones-locales-en-mexico-0>
- Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., Von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., Petri, S., Porkka, M., Rahmstorf, S., Schaphoff, S., Thonicke, K., Tobian, A., Virkki, V., Wang-Erlandsson, L., Weber, L., & Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(37). <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>
- Rivera, M. M. (2020). Usos de la tierra, desarrollo humano y objetivos de desarrollo sostenible: geografías, visiones y perspectivas. En M. Rivera (Coord.), *Usos sostenibles de la tierra y desarrollo humano* (pp. 10-35). Universidad de Sevilla.
- Schneider, S. H., Rosencranz, A., Mastrandea, M. D., & Kuntz-Duriseti, K. (2010). *Climate change science and policy*. United States of America.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, & Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2018) *Sexta comunicación nacional y segundo informe bienal de actualización ante la convención marco de las*

- Naciones Unidas sobre el cambio climático. https://www4.unfccc.int/sites/SubmissionsStaging/NationalReports/Documents/69287541_Mexico-BUR2-NC6-2-MEX_6aNC_Revisada.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, & Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2022). *México: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, 1990-2019*. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/InventarioGEI_Mexico_1990_2019.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40*. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/41978/Estrategia-Nacional-Cambio-Climatico-2013.pdf>
- Serrano López, A. (2021). Construyendo un concepto de desarrollo humano. *Perspectivas del Desarrollo*, 6(1), 21-14. <https://doi.org/10.5377/rpdd.v6i1.12417>
- Sosa-Rodríguez, F. S. (2015). Política del cambio climático en México: avances, obstáculos y retos. *Realidad, datos y espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 6(2), 4-23.
- Torres-Porras, J., & Arrebola, J. C. (2018). Construyendo la ciudad sostenible en el Grado de Educación Primaria. *Revista Eureka*, 15(2), 1-15. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2501
- Tyler, S., & Moench, M. (2012). A framework for urban climate resilience. *Climate and Development*, 4(4), 311-326. <https://doi.org/10.1080/17565529.2012.745389>
- United Nations Climate Change. (2023). *¿Qué significa adaptación al cambio climático y resiliencia al clima?* <https://unfccc.int/es/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/que-significa-adaptacion-al-cambio-climatico-y-resiliencia-al-clima#adaptation-communications>

Sobre los autores

Enrique Sánchez Salinas. Consultor ambiental independiente. Director ejecutivo de Misión Sustentabilidad México. Miembro del Consorcio Universitario para la Gestión Sostenible de Residuos en América Latina y el Caribe.

Ma. Laura Ortiz Hernández. Consultora ambiental independiente. Directora académica de Misión Sustentabilidad México. Miembro del Consorcio Universitario para la Gestión Sostenible de Residuos en América Latina y el Caribe.

María Luisa Castrejón Godínez. Profesor-investigadora de tiempo completo. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Alexis Joavany Rodríguez Solís. Profesor-investigador de tiempo completo. Centro de Investigación en Biotecnología. Profesor de la Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Patricia Mussali Galante. Profesor-investigadora de tiempo completo. Centro de Investigación en Biotecnología. Profesora de la Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Gabriel Dorantes Argandar. Profesor-investigador de tiempo completo. Facultad de Psicología. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Emmanuel Poblete Trujillo. Profesor-investigador de tiempo completo. Centro de Investigación Transdisciplinar en Psicología. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Josimar Evanivaldo Hernández Torres. Psicólogo. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Mónica Ramírez López. Profesora de la Facultad de Contaduría y Administración. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Efraín Tovar Sánchez. Profesor-Investigador de Tiempo Completo. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación. Profesor de la Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Responsable de la cátedra UNESCO Cambio Climático y Desarrollo Sostenible en América Latina.

*Cambio climático, salud y contexto social:
un vínculo indisoluble*
de Enrique Sánchez Salinas,
Ma. Laura Ortiz Hernández,
María Luisa Castrejón Godínez
y Efraín Tovar Sánchez
(editores)
se terminó en julio de 2024.

El cambio climático representa uno de los principales retos de la humanidad debido a que afecta a los sistemas bio-físicos del planeta. Las principales evidencias de la variabilidad climática son el incremento del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo de las capas glaciares terrestres, el aumento del promedio mundial del nivel del mar, la multiplicación de eventos climáticos extremos, el cambio en el comportamiento de algunas especies y amenazas a la biodiversidad, los impactos negativos a los sistemas de producción agrícola; además del surgimiento de enfermedades emergentes o reemergentes. Adicionalmente, las condiciones de marginación social de amplios sectores de la población incrementan la vulnerabilidad a los efectos del cambio climático.

Específicamente, el cambio climático se ha reconocido como la más grande amenaza global para la salud del siglo XXI, pues impacta en el ambiente físico, los aspectos sociales y económicos; así como sobre los sistemas de salud, entre otros ámbitos. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, el cambio climático podría revertir décadas de avances en el ámbito de la salud, ya que también aumenta el riesgo de morbilidad y mortalidad, además de que puede llegar a repercutir en la salud mental de la población.

Este volumen integra las contribuciones de un grupo de académicos que analiza a detalle cada uno de estos temas y plantea una serie de propuestas, desde su experiencia, para afrontar el fenómeno del cambio climático, particularmente para la región de América Latina y el Caribe.

El presente libro constituye la primera entrega de una serie de textos que resultará de las actividades académicas en el marco de la Cátedra UNESCO denominada Cambio Climático y Desarrollo Sostenible en América Latina de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.