

Cambio climático, crisis ambiental y democracia. Reflexiones sobre gobernanza ambiental en el Antropoceno

Exequiel Ezcurra
Paula Ezcurra

47

Cambio climático, crisis ambiental y democracia. Reflexiones sobre gobernanza ambiental en el Antropoceno

Exequiel Ezcurra
Paula Ezcurra

Cambio climático, crisis ambiental y democracia. Reflexiones sobre gobernanza ambiental en el Antropoceno

Exequiel Ezcurra
Paula Ezcurra

47

Instituto Nacional Electoral

Consejera Presidenta

Lcda. Guadalupe Taddei Zavala

Consejeras y Consejeros Electorales

Mtro. Arturo Castillo Loza

Norma Irene De La Cruz Magaña

Dr. Uuc-kib Espadas Ancona

Mtro. José Martín Fernando Faz Mora

Carla Astrid Humphrey Jordan

Mtra. Rita Bell López Vences

Mtro. Jorge Montaña Ventura

Mtra. Dania Paola Ravel Cuevas

Mtro. Jaime Rivera Velázquez

Mtra. Beatriz Claudia Zavala Pérez

Encargada de despacho de la Secretaría Ejecutiva

Mtra. Claudia Edith Suárez Ojeda

Encargado de despacho del Órgano Interno de Control

Lic. Luis Oswaldo Peralta Rivera

Directora Ejecutiva de Capacitación Electoral y Educación Cívica

Lcda. María Elena Cornejo Esparza

Cambio climático, crisis ambiental y democracia.

Reflexiones sobre gobernanza ambiental en el Antropoceno

Exequiel Ezcurra

Paula Ezcurra

Primera edición, 2024

D.R. © 2024, Instituto Nacional Electoral
Viaducto Tlalpan núm. 100, esquina Periférico Sur,
col. Arenal Tepepan, 14610, Ciudad de México

ISBN obra completa impresa: 978-607-8772-11-7

ISBN volumen impreso: 978-607-2604-15-5

ISBN obra completa electrónica: 978-607-8772-90-2

ISBN volumen electrónico: 978-607-2604-04-9

El contenido es responsabilidad de la y el autor y no necesariamente representa el punto de vista del INE

Impreso en México/*Printed in Mexico*

Distribución gratuita. Prohibida su venta

Contenido

- 7 Presentación
- 13 Prólogo
- 17 Los desafíos del Antropoceno
- 41 Los servicios de la naturaleza
- 55 Biodiversidad
- 75 Justicia y gobernanza ambiental
- 97 Gobernanza ambiental y democracia
- 137 Bibliografía
- 155 Sobre el autor y la autora

Presentación

El cambio climático y la consolidación de la democracia están entre los mayores desafíos de las sociedades contemporáneas. Sin embargo, ambos términos pocas veces aparecen juntos en la literatura especializada o en el debate público. *Cambio climático, crisis ambiental y democracia. Reflexiones sobre gobernanza ambiental en el Antropoceno* logra conjuntarlos, ya que tiene como eje central abrir la conversación sobre la forma en la que los Estados democráticos pueden afrontar eficazmente los desastres ocasionados por el cambio climático.

La autora y el autor comparten algunos de los hallazgos —no del todo positivos— encontrados en las legislaciones locales e internacionales, y señalan que en la mayoría de ellas se evita abordar los temas de gobernanza ambiental. Afirman que, así como la riqueza se distribuye inequitativamente, los impactos negativos asociados con la degradación del medio ambiente son resentidos con mayor severidad por las comunidades más desfavorecidas. Por ello, en el campo científico se ha acuñado el concepto de

justicia ambiental, y se busca poner a debate esas desigualdades. También señalan que el tema debe ser parte de las agendas democrática y ambiental.

En el primer apartado, explican cómo los ciclos de la materia y la energía están interconectados y cómo cualquier alteración en ellos impacta el equilibrio climático del planeta y la vida de los seres vivos que lo habitan. Invitan a promover el uso responsable de los recursos naturales y su conservación, con el fin de proteger a la especie humana. Indican que la actividad humana ha modificado los ecosistemas a nivel global, generando cambios por la contaminación o degradación del medio ambiente, así como la extinción de muchas especies debido al deterioro de sus hábitats. También señalan que se han producido cambios en la geología del planeta a causa de las industrias minera y de la construcción.

En el segundo apartado, analizan los servicios proporcionados por la naturaleza, que suelen dividirse en: servicios de provisión, de regulación, culturales y de apoyo, destacando que son finitos. Añaden que, durante largo tiempo, predominó la visión de modificar el medio ambiente en favor de diversos proyectos de desarrollo, lo que derivó en la pérdida de muchos de los recursos naturales. En décadas recientes, las y los científicos han proporcionado

datos suficientes para asegurar que, sin estos recursos naturales, se pone en peligro la supervivencia de las ciudades y los campos agrícolas.

En el tercer apartado, explican que la biodiversidad se refiere a la variedad de formas de vida existentes en el planeta y los ecosistemas que habitan. Advierten de su importancia en la producción de alimentos, medicinas, materiales y recursos esenciales para la supervivencia humana. Sin embargo, la actividad humana está impactando seriamente la conservación de la biodiversidad, por lo que protegerla es de vital importancia para garantizar un futuro sostenible.

En el cuarto apartado, señalan que para lograr el ideal de justicia ambiental se debe tener un enfoque equitativo que guíe la toma de decisiones relacionadas con regulaciones ambientales y el acceso igualitario a los recursos naturales y sus beneficios. Además, se debe garantizar la participación ciudadana en la toma de decisiones, sobre todo si afectan su entorno o calidad de vida. En ese sentido, consideran importante incluir las perspectivas indígenas en la gestión ambiental.

Apuntan que la crisis ambiental es un fenómeno que afecta a los seres humanos y al planeta en general. Por lo que

las soluciones que se generen para mitigar sus riesgos tienen implicaciones políticas y sociales significativas, que se vinculan estrechamente con la democracia.

En la obra, se señalan diversos enfoques respecto al cambio climático, generados tanto en el campo científico como en el político. Para no ceñirse a una visión catastrofista y, por el contrario, alentar la participación, se relatan algunas historias de éxito en la protección del medio ambiente donde la sociedad civil y los gobiernos han coordinado esfuerzos.

Cambio climático, crisis ambiental y democracia. Reflexiones sobre gobernanza ambiental en el Antropoceno llama la atención sobre tres pilares indispensables que permitirían impulsar la gobernanza ambiental: primero, la participación ciudadana, sobre todo en los procesos de deliberación donde las y los ciudadanos puedan expresar sus opiniones y aportar soluciones que contribuyan a la generación de políticas públicas; el segundo pilar consiste en la transparencia y el acceso a la información, generando datos científicos sobre el cambio climático, sus causas, impactos y posibles soluciones, procurando que estén disponibles para que la ciudadanía pueda tomar decisiones informadas y participar en el debate público; y finalmente, la justicia ambiental, entendida como la necesidad de que cualquier acuerdo, tanto local como

global, tome en cuenta la perspectiva de las comunidades más desfavorecidas.

El Instituto Nacional Electoral se honra en publicar, en su colección Cuadernos de Divulgación de la Cultura Democrática, obras de personas reconocidas en el ámbito académico que ofrecen a las y los lectores temas fundamentales para el ejercicio de los valores democráticos, abordados de manera sencilla, sin perder rigor analítico.

Este Cuaderno de Divulgación de la Cultura Democrática ofrece la visión de que la democracia es una condición necesaria, aunque no suficiente, para lograr revertir los estragos de la crisis climática. Teniendo en cuenta que en los regímenes democráticos se permite a la ciudadanía participar en la toma de decisiones de manera informada, y que un gobierno democrático debe asumir la responsabilidad de abordar el problema con políticas públicas apropiadas y en colaboración con las comunidades científicas. Por último, sugiere que para afrontar un desafío global como el cambio climático, los países deben elaborar acuerdos internacionales y compartir conocimiento, recursos humanos, económicos y tecnológicos.

Prólogo

Cuando el Comité Editorial del Instituto Nacional Electoral me propuso escribir este cuaderno, mi primera reacción fue de aprensión porque el tema del cambio climático ha sido abordado en detalle por excelentes investigadores. ¿Qué podría agregar un nuevo trabajo, por ejemplo, al excelente libro de Mario Molina, José Sarukhán y Julia Carabias, entre muchos otros que han sido escritos en tiempos recientes? Finalmente, ante la gentil insistencia de Antonio Nava Valdez, exsubdirector de Producción Editorial, decidí aceptar y tratar de agregar algunas reflexiones personales al tema. Me guiaron dos razones fundamentales para asentir.

Por un lado, una búsqueda rápida en la literatura existente me mostró que las palabras *democracia* y *cambio climático* rara vez aparecen juntas en un mismo documento. Por razones entendibles quizás, los documentos de organizaciones internacionales, como la Convención Marco

sobre Cambio Climático, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático o la Plataforma Intergubernamental sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas evitan discutir temas sobre gobernanza ambiental que consideran internos de cada país miembro. Pero dentro de cada país, la discusión es cada vez más urgente. Aunque la crisis ambiental global y el sistema de gobierno parecen problemas separados y claramente diferenciados que deben confrontar las sociedades modernas, ambos se interconectan por un retículo complejo de temas que amenazan el bienestar de nuestras sociedades. No es casual que muchos de los líderes que manifiestan dudas sobre el sistema democrático, como Donald Trump o Jair Bolsonaro, sean también enemigos declarados del cuidado del medio ambiente y negacionistas acérrimos de la ciencia del cambio climático.

Por otro lado, escribir este cuaderno me ofrecía la oportunidad de explorar más un tema que es, en mi opinión, urgente: el concepto de *justicia ambiental*, un enfoque que busca abordar las desigualdades en la distribución de los impactos negativos ambientales y las cargas asociadas con la degradación del medio ambiente. Desde hace años me he ido convenciendo de que las comunidades y grupos marginados, en muchos casos poblaciones de bajos ingresos, minorías étnicas, comunidades indígenas

y grupos vulnerables tienden a sufrir de manera desproporcionada los efectos adversos de la contaminación, la degradación del medio ambiente y el cambio climático. El acceso al agua potable, la contaminación del aire y del agua, la ubicación de instalaciones industriales, la disposición final de residuos tóxicos, el acceso a espacios verdes y entornos saludables, entre muchas otras variables ambientales, no se reparten equitativamente entre los diferentes grupos sociales. A medida que la degradación ambiental crece en el planeta, la inequidad ambiental se manifiesta cada vez con mayor crudeza como parte del desafío de la justicia social; una y otra son facetas de una misma cosa, y forman el puente más importante entre la agenda democrática y la agenda ambiental. Estoy convencido de que sólo con un claro compromiso de justicia ambiental, junto con transparencia informativa, educación de la más alta calidad y una decidida y entusiasta participación ciudadana en la toma de las grandes decisiones ambientales, será posible enfrentar los enormes desafíos que nos plantea la crisis ambiental global.

Al empezar a escribir, me di cuenta de que mi conocimiento de los temas más recientes de la ciencia del cambio climático no estaba tan actualizado como hubiera querido, y decidí invitar a Paula Ezcurra a colaborar en el proyecto. En ánimo de transparencia, debo revelar que Paula es mi

hija, pero es también —a diferencia mía— experta en los temas de cambio climático y justicia ambiental. Ha sido un verdadero placer trabajar con ella y explorar juntos estos problemas que son tan importantes para México y el mundo.

Exequiel Ezcurra

Los desafíos del Antropoceno

Los grandes ciclos de materia y energía

La Tierra funciona como un gigantesco ecosistema cerrado, una especie de gran organismo vivo en el cual la materia constantemente se recicla y a través del cual la energía —fundamentalmente proveniente del sol— fluye de manera continua entre sus elementos. Gracias a estos ciclos, los elementos químicos esenciales para la vida se transportan y se reciclan entre los diferentes compartimientos del planeta: la atmósfera, los océanos, los suelos y los organismos vivos. Su constante movimiento permite la renovación y supervivencia de los ecosistemas terrestres y acuáticos. Dentro de una multitud de elementos y sustancias que continuamente se reciclan en el planeta, hay cuatro grandes ciclos biogeoquímicos que son de especial importancia para la sustentabilidad de la Tierra: los ciclos del carbono, nitrógeno, fósforo y agua.

Ciclo del carbono. El carbono es el elemento fundamental de la vida; todas las moléculas de los seres vivos —como proteínas, carbohidratos, lípidos, ácidos nucleicos y una infinidad de compuestos secundarios— están formadas por cadenas de átomos de carbono con diferentes configuraciones. El átomo de carbono es, por así decirlo, el *ladrillo* molecular más sencillo sobre el cual está construida toda la inmensa complejidad de la diversidad de la vida. Uno de los grandes reservorios activos de carbono en la Tierra lo forma la atmósfera, donde se encuentra en forma de dióxido de carbono (CO_2). De allí, es capturado por las plantas terrestres y las algas a través del proceso de fotosíntesis. Usando la energía del sol, el CO_2 es convertido a moléculas orgánicas por plantas y algas para formar sus propias células y tejidos. Estos organismos fotosintéticos, o productores primarios, son a su vez consumidos por herbívoros, o consumidores primarios, quienes —incapaces de obtener energía de manera directa de la luz solar— utilizan la energía y el carbono de los vegetales para mantener su ciclo de vida. Los consumidores primarios, como el zooplancton en el mar o los herbívoros en la tierra, son a su vez consumidos por una compleja red de consumidores secundarios, o carnívoros, para formar la cadena trófica. El ciclo se cierra a través del proceso de respiración, en el que se libera CO_2 nuevamente a la atmósfera cuando los

organismos utilizan la energía almacenada en las uniones químicas de la materia orgánica.¹

Ciclo del nitrógeno. El nitrógeno es un componente esencial de las proteínas y los ácidos nucleicos de los seres vivos. Aunque la atmósfera contiene una gran cantidad de nitrógeno en forma de gas (N_2), la mayor parte de las especies vivas no pueden utilizarlo directamente y dependen críticamente de algunas bacterias capaces de fijar nitrógeno atmosférico en forma de compuestos orgánicos nitrogenados que las plantas pueden absorber. A partir de allí —al igual que con el carbono— se transfiere a otros organismos a través de la cadena trófica. El nitrógeno es eventualmente liberado a través de las excretas o mediante la descomposición de organismos muertos en forma de urea o nitratos. Las bacterias de la desnitrificación lo convierten nuevamente en nitrógeno gaseoso que regresa a la atmósfera, cerrando así el ciclo. A pesar de la gran abundancia del nitrógeno gaseoso, que constituye el 78% de la atmósfera, la presencia de nitrógeno asimilable en el suelo o el agua ha sido, por millones de años, uno de los factores más limitantes para la vida: la fijación del

¹ Antoinette Mannion (ed.), *Carbon and its domestication*, Dordrecht, Springer, 2006, p. 319.

nitrógeno atmosférico ha sido el *cuello de botella* en el ciclo del nitrógeno planetario para los seres vivos.

Ciclo del fósforo. El fósforo es un elemento esencial en la estructura del ADN, en la respiración celular, la fotosíntesis y otros procesos energéticos de las células.² Se encuentra principalmente en rocas y minerales, y su liberación al ambiente ocurre mediante la erosión y la meteorización de rocas y sedimentos fosfóricos. Las plantas lo toman del suelo y los animales lo obtienen al consumir plantas u otros animales en la cadena trófica. A través de la descomposición de la materia orgánica y la disolución en el agua, el fósforo eventualmente retorna al suelo y los océanos, para ser tomado de nuevo por los seres vivos.

Ciclo del agua (o ciclo hidrológico). La vida evolucionó en el agua, y el agua es la sustancia más importante para el mantenimiento de todas las formas de vida. Por otra parte, el agua juega un papel vital en la regulación del clima y la meteorología del planeta. Con el impulso de la energía proveniente del sol, las corrientes oceánicas y los flujos atmosféricos funcionan como gigantescas bandas transportadoras de energía y humedad que definen

² Kathleen Ruttenberg, "8.13 - The Global Phosphorus Cycle", en *Treatise on Geochemistry*, vol. 8, diciembre de 2003, pp. 585-643.

los grandes climas del planeta. El ciclo del agua comienza con la evaporación desde océanos y cuerpos de agua, la condensación en forma de nubes, la precipitación de lluvia o nieve, la escorrentía hacia ríos y lagos y, finalmente, el retorno al mar.³ Los seres vivos —fundamentalmente las plantas— también participan en este ciclo regulando la transpiración y la evaporación desde las superficies cubiertas de vegetación.⁴

Todos estos ciclos de materia y energía están interconectados, y la alteración de cualquiera de ellos puede tener un impacto trascendente en el equilibrio global de la vida y el clima en nuestro planeta. De manera directa (al afectar la disponibilidad de recursos para la vida) o indirecta (al modificar el clima o las características del ambiente) las modificaciones severas de los ciclos planetarios de materia y energía pueden producir grandes cambios ambientales en la Tierra y alterar los grandes procesos globales que dan continuidad a la vida.

Durante los últimos siglos, las actividades de los seres humanos han jugado un papel crucial en la alteración de

³ Taikan Oki *et al.*, “The Global Water Cycle”, en *The State of the Planet: Frontiers and Challenges in Geophysics*, American Geophysical Union, 2013, p. 225.

⁴ Gerald Stanhill, “Evapotranspiration”, en *Encyclopedia of Soils in the Environment*, Elsevier, 2005, pp. 502-506.

estos ciclos a través de prácticas como la deforestación, la quema de combustibles fósiles, la sobrepesca y la agricultura intensiva, entre muchas otras. Muchos científicos han mostrado claras evidencias de que la extensión y la severidad de estas actividades están llevando a desequilibrios y cambios ambientales en todo el planeta, con consecuencias ambientales negativas. Comprender y manejar estos ciclos es esencial para la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales de la Tierra, y para la propia supervivencia de la especie humana.

Alteraciones antropogénicas del ciclo del carbono

La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera ha experimentado variaciones significativas a lo largo de millones de años. Estas variaciones están relacionadas con procesos naturales y cambios climáticos en la Tierra, y han ocurrido muy lentamente, en una escala de decenas de miles de años. Durante los últimos dos millones de años, por ejemplo, los ciclos naturales de glaciación y derretimiento de los hielos han traído variaciones importantes en las concentraciones de CO₂ atmosférico (de unas 180-200 partes por millón [ppm] durante las glaciaciones a unas 250-280 ppm durante los periodos interglaciares), correlacionadas con dramáticos descensos en el nivel medio del mar en ciclos naturales de unos 100-150 mil años. En los últimos siglos, sin embargo, los cambios en

la concentración de CO₂ atmosférico han ocurrido cien veces más rápido, en una escala de siglos o décadas, y continúan acelerándose.⁵

Antes de la Revolución Industrial, la concentración de CO₂ en la atmósfera se mantuvo relativamente estable durante miles de años, alrededor de 280 partes por millón. Sin embargo, con la expansión de la Revolución Industrial a finales del siglo XVIII, las actividades humanas comenzaron a liberar grandes cantidades de CO₂ en la atmósfera. Para mantener la explosiva actividad industrial, muchas naciones comenzaron a obtener su energía a partir de la quema de combustibles fósiles como carbón, petróleo y gas natural, formados a partir de restos de plantas y animales que vivieron hace cientos de millones de años y cuyos sedimentos mineralizados se acumularon en la Tierra a lo largo de periodos geológicos extremadamente largos. La Revolución Industrial también trajo consigo la expansión colonial de los países europeos hacia las naciones tropicales de África, Asia y América del Sur, para suplementar las economías europeas con nuevos recursos naturales provenientes de la agricultura de plantaciones, como el

⁵ Paola Andrea Arias *et al.*, "Technical Summary", en *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Cambridge University Press, 2021, pp. 33–144.

caucho y la caña de azúcar, o recursos maderables como la teca, el palo de rosa, el cedro o el guayacán. El resultado final fue un acelerado proceso de deforestación en las selvas tropicales del planeta que, junto con las emisiones industriales, comenzaron a liberar cantidades masivas de CO₂ a la atmósfera.⁶

Las mediciones directas de la concentración de CO₂ en la atmósfera comenzaron en la década de 1950 en el Observatorio de Mauna Loa en Hawái.⁷ Estos datos han mostrado un claro y constante aumento en los niveles de CO₂ a lo largo del tiempo. En 1950 la concentración era de 310 ppm; en 1980, de 339 ppm; en el año 2000 alcanzaba 370 ppm, y para el momento de la publicación de este libro, 422 ppm.⁸

Esta extraordinaria disrupción en el ciclo del carbono es de la mayor importancia para el equilibrio termodinámico del planeta. La radiación solar llega a la Tierra mayormente

⁶ Guido van der Werf *et al.*, "CO₂ emissions from forest loss", *Nature Geoscience*, vol. 2, noviembre de 2009, pp. 737-738.

⁷ Charles D. Keeling, "The Concentration and Isotopic Abundances of Carbon Dioxide in the Atmosphere", en *Tellus*, vol. 12, junio de 1960, pp. 200-203.

⁸ Global Monitoring Laboratory, *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*, NOAA Earth System Research Laboratories, disponible en <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/> (fecha de consulta: 8 de agosto de 2023).

en el espectro visible; aproximadamente una tercera parte de ella se refleja al espacio exterior y el resto es absorbido por la superficie terrestre. A medida que la Tierra se calienta con la radiación incidente del sol, emite calor al espacio en forma de radiación infrarroja hasta equilibrar la energía que llega del sol con la energía emitida. Los gases de efecto invernadero —como el vapor, el dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso— son transparentes a la luz visible pero parcialmente opacos a la radiación infrarroja. Como los vidrios de un invernadero, absorben parte de la radiación infrarroja emitida que enfría al planeta, y la reemiten en todas las direcciones, incluida de vuelta a la Tierra. Así, un incremento en la concentración atmosférica de CO₂ atrapa más calor en la atmósfera y eleva la temperatura promedio del planeta.⁹

El aumento en gases de efecto invernadero, fundamentalmente CO₂ y metano —proveniente de actividades agrícolas y ganaderas a gran escala—, ha provocado un incremento en la temperatura promedio de la Tierra y en fenómenos climáticos extremos, producto de la creciente cantidad de energía almacenada en la atmósfera y en los

⁹ Hervé Le Treut *et al.*, “Historical Overview of Climate Change”, en *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Cambridge University Press, 2007, pp. 93-127.

océanos. Como resultado, durante las últimas décadas se ha observado un aumento en diversos impactos climáticos, como el derretimiento de los glaciares y los casquetes polares, el crecimiento en el nivel medio del mar, las ondas de calor más frecuentes e intensas, los cambios en los patrones climáticos, las sequías prolongadas, las tormentas e inundaciones extremas y los incendios forestales.¹⁰

Alteraciones antropogénicas del ciclo del nitrógeno

Hasta finales del siglo XIX, la fertilidad de los suelos agrícolas estaba limitada por la cantidad de nitrógeno. Los fertilizantes nitrogenados se obtenían con grandes esfuerzos de islas de guano en varias costas oceánicas del planeta y del salitre de Chile, un mineral natural del desierto de Atacama, ambos codiciados para mejorar la fertilidad del suelo y aumentar la producción de cultivos en todo el mundo. A principios del siglo XX, dos químicos alemanes, Fritz Haber y Carl Bosch, desarrollaron un proceso industrial que permite la síntesis de amoníaco (NH_3) a partir de nitrógeno gaseoso (N_2) y gas de hidrógeno (H_2). El amoníaco sintético, convertido en urea, nitratos y otros fertilizantes nitrogenados, tuvo un impacto profundo

¹⁰ Hans-Otto Pörtner *et al.* (eds.), "Summary for Policymakers", en *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Cambridge University Press, 2022, pp. 3-33.

en la agricultura y la producción de alimentos, y permitió alimentar a lo largo del siglo XX a una población mundial en constante crecimiento.¹¹

Hasta el desarrollo de la síntesis del amoníaco, la fijación de nitrógeno atmosférico se realizaba naturalmente gracias a la acción de bacterias fijadoras de nitrógeno, que viven en simbiosis con algunas plantas (sobre todo, leguminosas) o en el suelo. La rotación de cultivos con leguminosas y el cuidado de los suelos como tejidos vivos eran vitales para el mantenimiento de la agricultura, pero los fertilizantes sintéticos cambiaron este enfoque drásticamente, abriendo paso a la agricultura industrializada. En 1997, a finales del milenio, la producción industrial de nitrógeno era de unos 80 millones de toneladas, dos veces más alta que la cantidad fijada naturalmente por leguminosas y microorganismos del suelo, que alcanza sólo 40 millones al año. Al igual que el ciclo del carbono, la actividad industrial humana domina actualmente la dinámica del nitrógeno en los ecosistemas planetarios.¹² Si bien adueñarnos del ciclo del nitrógeno a través de la síntesis industrial nos ha permitido elevar la producción agrícola global a niveles

¹¹ Vaclav Smil, *Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the Transformation of World Food Production*, Cambridge, MIT Press, 2004, p. 338.

¹² Peter M. Vitousek et al., "Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences", en *Ecological Applications*, vol. 7, 1º de agosto de 1997, pp. 737-750.

que parecían imposibles hace sólo medio siglo, también ha tenido un costo ambiental considerable. La síntesis de Haber-Bosch demanda altas cantidades de energía (unos 30-35 M Joule por kg de amoníaco producido) y, si esa energía se obtiene de combustibles fósiles, emite unos 2.16 kg de CO₂ por kilo de amoníaco sintetizado. Así, la industria de los fertilizantes nitrogenados genera más del 2% de las emisiones de CO₂ al año.¹³ A este efecto directo hay que sumarle el hecho de que el uso agrícola intensivo de fertilizantes nitrogenados genera, al descomponerse en el suelo, emisiones de óxido nitroso, un gas de alto efecto invernadero que contribuye aún más al calentamiento global de la atmósfera.

Por otro lado, el uso intensivo de fertilizantes nitrogenados en la agricultura industrializada moderna ha llevado a un aumento en la disponibilidad de nitrógeno en el ambiente. Las altas cantidades de nitrógeno en el suelo producto de la fertilización son eventualmente lixiviadas al agua del subsuelo y de la superficie, y desde ahí son acarreadas a arroyos, ríos y cuerpos de agua en las grandes cuencas, donde genera serios problemas de contaminación, como la eutrofización de cuerpos de agua debido al exceso de

¹³ Seyedehhoma Ghavam *et al.*, "Sustainable Ammonia Production Processes", en *Frontiers in Energy Research*, vol. 9, 29 de marzo de 2021.

nutrientes, y puede emitir metano, un potente gas de efecto invernadero, de la descomposición anaeróbica desde las aguas sobrefertilizadas.

Alteraciones antropogénicas del ciclo del fósforo

A diferencia de otros ciclos biogeoquímicos, como el ciclo del carbono y el del nitrógeno, el fósforo no tiene una fase gaseosa en la atmósfera, pero es igualmente susceptible a alteraciones directas por la acción humana.

La aplicación masiva de fertilizantes fosfatados en la agricultura para aumentar la producción de cultivos ha llevado a un aumento significativo de la concentración de fósforo en los suelos y, en última instancia, en las fuentes de agua. Junto con los fertilizantes nitrogenados, el escurrimiento de fósforo de los campos agrícolas hacia cuerpos de agua puede provocar eutrofización, un proceso en el cual se estimula el crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas debido al exceso de nutrientes.¹⁴ Eventualmente, la descomposición de esta materia vegetal acumulada puede tener efectos negativos en la calidad del agua, contaminar los ecosistemas acuáticos y contribuir a las

¹⁴ Stephen R. Carpenter, "Eutrophication of aquatic ecosystems: bistability and soil phosphorus", en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 102, 12 de mayo de 2005, pp. 10002-10005.

emisiones de metano a la atmósfera.¹⁵ Adicionalmente, la eliminación de desechos humanos y animales a través del vertido de aguas residuales ricas en fósforo, sin tratamiento adecuado, puede también contribuir a la eutrofización de los cuerpos de agua continentales, con un impacto significativo en la salud humana y en las emisiones de gases de efecto invernadero.¹⁶

El nitrógeno y fósforo que se van acumulando en los grandes ríos a partir de la escorrentía agrícola y las aguas residuales llegan finalmente al océano en los grandes deltas y estuarios del planeta donde, una vez disueltos, estimulan un crecimiento excesivo de algas y fitoplancton en la superficie del mar, un fenómeno conocido como *floración de algas o mareas rojas*.¹⁷ Cuando estas algas mueren, se convierten en materia orgánica suspendida que eventualmente se descompone. Durante el proceso, los microorganismos consumen oxígeno para degradar la materia orgánica, lo que da como resultado una seria

¹⁵ Jake J. Beaulieu *et al.*, “Eutrophication will increase methane emissions from lakes and impoundments during the 21st century”, en *Nature Communications*, vol. 10, 26 de marzo de 2019.

¹⁶ Stephen R. Carpenter *et al.*, “Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen”, en *Ecological Applications*, vol. 8, 1 de agosto de 1998, pp. 559-568.

¹⁷ Jana L. Heisler *et al.*, “Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus”, en *Harmful Algae*, vol. 8, diciembre de 2008, pp. 3-13.

disminución de los niveles de oxígeno en el agua, o hipoxia. Como consecuencia, la vida marina (peces y crustáceos) muere en estas zonas costeras debido a la falta de oxígeno, con efectos devastadores para la salud pública, las comunidades y las industrias asociadas a la pesca.¹⁸

Alteraciones antropogénicas del ciclo hidrológico

Las actividades de los humanos han provocado fuertes alteraciones en el ciclo del agua en el planeta. Algunas de ellas, como la deforestación, el cambio en la cobertura vegetal o la construcción de grandes presas, tienen un impacto directo en la dinámica de las aguas, el proceso natural por el cual el agua se mueve y circula entre la atmósfera, la superficie terrestre y los cuerpos de agua. Otras actividades, como la emisión de gases de efecto invernadero, tienen un impacto indirecto en el ciclo hidrológico al modificar las temperaturas planetarias, aumentar la frecuencia de fenómenos climáticos extremos e intensificar los incendios forestales.

Las áreas boscosas juegan un papel crítico en el ciclo hidrológico. La deforestación a gran escala y la conversión de tierras naturales en áreas urbanas o agrícolas alteran la

¹⁸ Donald M. Anderson *et al.*, “Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences”, en *Estuaries*, vol. 25, agosto de 2002, pp. 704-726.

capacidad del suelo para retener agua y afectan la evaporación en la vegetación, provocando fuertes cambios en los patrones de precipitación y escorrentía, así como una disminución de la recarga de acuíferos. El urbanismo mal planeado puede incrementar aún más el impacto de los cambios en el uso del suelo sobre el ciclo hidrológico. En efecto, la expansión de áreas urbanas lleva con frecuencia a la pavimentación de grandes superficies, reduciendo severamente la capacidad del suelo para infiltrar agua y aumentando la escorrentía superficial. Esto puede dar lugar a inundaciones urbanas más frecuentes y a la recarga reducida de los acuíferos subterráneos y de las planicies aluviales, como ha ocurrido de manera dramática en la Cuenca de México.

A pesar de su apariencia benigna y sustentable, la construcción de presas y embalses para generar energía hidroeléctrica y almacenar agua para riego interrumpe el flujo natural del agua y modifica los patrones de escurrimiento y sedimentación aguas abajo, alterando con frecuencia la ecología de los ecosistemas fluviales. Los sedimentos que transportan los ríos quedan atrapados en las presas en detrimento de las planicies aluviales, los

estuarios y las costas aguas abajo que dependen de esos aportes para su mantenimiento y productividad.¹⁹

El agua subterránea en muchos de nuestros acuíferos ha sido acumulada a lo largo de cientos de miles de años, durante los periodos glaciales. La extracción excesiva y no sostenible del agua de estos acuíferos puede reducir los niveles de agua en pozos y el flujo en manantiales y, en muchos casos, llevar al agotamiento de los recursos del agua subterránea. A esto se le suma con frecuencia el inmenso problema de la contaminación del agua superficial. La descarga de aguas residuales sin tratamiento adecuado, la liberación de productos químicos y nutrientes agrícolas en cuerpos de agua, y la acumulación de residuos sólidos afectan en su conjunto la calidad y disponibilidad del agua superficial, con efectos severos en la salud humana y en los ecosistemas acuáticos.

A escala planetaria, estas alteraciones antropogénicas del ciclo hidrológico tienen un impacto perjudicial en la disponibilidad y calidad del agua, afectan la biodiversidad y la salud de los ecosistemas acuáticos y tienen consecuencias

¹⁹ Exequiel Ezcurra *et al.*, "A natural experiment reveals the impact of hydroelectric dams on the estuaries of tropical rivers", en *Science Advances*, vol. 5, 13 de marzo de 2019.

negativas para la seguridad hídrica y alimentaria de las poblaciones humanas.²⁰

El Antropoceno: la huella humana en el ambiente global

Es claro que estamos viviendo un momento inédito en la historia natural de la Tierra. Nunca antes, en toda la historia de nuestro planeta, una sola especie biológica tuvo tanto control sobre los grandes procesos planetarios como nuestra especie, *Homo sapiens*, tiene en la actualidad. De una manera u otra, todos los grandes ciclos de materia y energía en la Tierra han sido intervenidos por los humanos, aunque no siempre la intervención ha sido consciente, dirigida y deliberada.²¹

Desde la Revolución Industrial, la actividad humana ha generado cambios ambientales a una escala y velocidad sin precedentes en la historia del planeta, visibles en elementos como la industrialización, la megaurbanización, la quema de combustibles fósiles, la deforestación, la agricultura industrial, la producción de plásticos y la

²⁰ Hervé Douville *et al.*, “Water Cycle Changes”, en *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Cambridge University Press, 2021, pp. 1055-1210.

²¹ Peter M. Vitousek, *op. cit.*

generación de residuos químicos y radiactivos de muy larga vida. Para entender y caracterizar este nuevo periodo en la historia natural de la Tierra, Paul J. Crutzen, químico atmosférico neerlandés y ganador del Premio Nobel, y Eugene F. Stoermer, biólogo estadounidense, acuñaron el término *Antropoceno* —literalmente, la era de los humanos— en un artículo publicado en el año 2000 en la revista *Global Change Newsletter*.²² El concepto de Crutzen y Stoermer es una propuesta para describir un nuevo periodo geológico: el tiempo en el que los seres humanos han dominado el medio ambiente y los sistemas de la Tierra. La palabra *Antropoceno* proviene de dos términos griegos: *anthropos* (que significa humano) y *kainos* (que significa “tiempo nuevo” o “época”). Los autores utilizaron el término para resaltar la influencia significativa e inédita de las actividades humanas en los sistemas de la Tierra, especialmente en relación con el cambio climático y otros grandes cambios ambientales que están modificando el ecosistema global.

De manera esquemática, el concepto incluye grandes aspectos del ambiente global que serán aún visibles en la

²² Paul J. Crutzen y Eugene F. Stoermer, “The ‘Anthropocene’”, en *Global Change Newsletter*, vol. 41, mayo de 2000, pp. 17-18.

estratigrafía y en la historia geológica de la Tierra cientos de miles, o quizás millones de años, en el futuro, como:

El cambio climático. La emisión masiva de gases de efecto invernadero ha llevado a un calentamiento global significativo que afecta el clima y los patrones meteorológicos en todo el mundo.²³

La pérdida de biodiversidad. La actividad humana ha llevado a la extinción de muchas especies y la degradación de hábitats naturales, lo que ha reducido la diversidad biológica en la Tierra.²⁴

Contaminación y degradación ambiental. La producción y el uso de productos químicos tóxicos, así como la generación de residuos y la contaminación del aire y del agua, han afectado negativamente la calidad del medio ambiente.

²³ Mark Lynas *et al.*, "Greater than 99% consensus on human caused climate change in the peer-reviewed scientific literature", en *Environmental Research Letters*, vol. 16, 19 de octubre de 2021.

²⁴ Bradley J. Cardinale *et al.*, "Biodiversity loss and its impact on humanity", en *Nature*, vol. 486, 6 de junio de 2012, pp. 59-67.

Cambios geológicos. La minería y la construcción a gran escala han alterado la topografía y la geología del planeta.²⁵

Aunque el concepto es aún objeto de debate científico, la idea central del *Antropoceno* ha ganado amplio reconocimiento y parece ser rigurosamente válida: las repercusiones ambientales de las actividades que realizan las sociedades humanas tienen consecuencias en todo el planeta. Todos los grandes ciclos de materia y energía en la Tierra han sido intervenidos por la actividad humana, la mayor parte de las veces de manera inconsciente y sin considerar las consecuencias a largo plazo de nuestras acciones.

Resulta claro, en este contexto, que la gran interrogante para la humanidad en esta compleja coyuntura es qué hacer, cómo actuar frente a las evidencias crecientes de transformaciones ambientales globales que parecen amenazar el futuro de nuestras propias sociedades. Noticias provenientes de todos los continentes informan de sequías cada vez más frecuentes, incendios forestales cada vez más intensos, anomalías térmicas en las

²⁵ Jaia Syvitski *et al.*, "Extraordinary human energy consumption and resultant geological impacts beginning around 1950 CE initiated the proposed Anthropocene Epoch", en *Communications Earth & Environment*, vol. 1, 16 de octubre de 2020.

corrientes oceánicas, ondas de calor que sobrepasan todos los registros históricos, inundaciones extraordinarias, y muchos eventos más que proyectan una nota sombría en la sustentabilidad del planeta. Los científicos sociales nos relatan cómo los desastres ambientales impactan más a los sectores más desfavorecidos, que no tienen los medios para protegerse o guarecerse de las grandes anomalías ambientales y climáticas del planeta.²⁶ Así como la riqueza dentro de nuestras sociedades tiene una distribución inequitativa, es necesario reconocer un nuevo concepto, el de *justicia ambiental*, que nos describe cómo los impactos de los grandes cambios ecológicos se reparten también inequitativamente entre los diferentes sectores sociales.

Por primera vez en la historia de la Tierra, las actividades de una sola especie dominan sobre los grandes ciclos globales de materia y energía. Pero el Antropoceno tiene también un rostro inquietante, porque los caminos por los que nos lleva la transformación de la biosfera no son necesariamente predecibles ni inocuos. Todos debemos

²⁶ Joern Birkmann *et al.*, "Poverty, Livelihoods and Sustainable Development. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability", en *Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Cambridge University Press, 2022, pp. 1171-1274.

reflexionar acerca de la influencia humana en la Tierra y sobre cómo organizarnos socialmente para actuar a favor del medio ambiente, para imaginar un futuro viable y una nueva geografía de la esperanza.

Los servicios de la naturaleza

El mundo transformado contra el mundo natural: un antagonismo conceptual

Desde los orígenes de la agricultura, los humanos hemos tenido una concepción fragmentada del mundo que nos rodea. Lo dividimos, conceptualmente, en el mundo transformado, que incluye campos agrícolas y asentamientos humanos, y el mundo natural, los ecosistemas silvestres que incluyen todo lo demás —selvas, bosques, praderas, desiertos, matorrales y una inmensidad de ecosistemas acuáticos y marinos—. Según esta perspectiva, los humanos somos dueños del mundo transformado, de los ecosistemas que hemos modificado para nuestro uso, pero tenemos asimismo la potestad de modificar los ecosistemas silvestres para nuestro beneficio. Esta visión está patentemente plasmada en el Génesis bíblico: “Y Dios dijo: Hagamos al hombre a nuestra imagen, conforme a nuestra semejanza; y que tengan dominio sobre los peces del mar, y sobre las aves del cielo, y sobre

el ganado, y sobre toda la tierra, y sobre todo animal que se arrastra sobre la tierra”.

En esta dialéctica entre el mundo transformado y el mundo silvestre, por siglos los seres humanos hemos considerado la transformación de los ecosistemas silvestres un signo de progreso, una señal inequívoca del avance civilizatorio de las sociedades humanas. El concepto de *tierras ociosas* que prevaleció a principios del siglo XX, durante la conmoción social que trajo la Revolución mexicana, es un ejemplo elocuente de ello. Sugiere que las tierras prístinas, los predios en estado silvestre, no aportan al desarrollo del país y no tienen valor social alguno. Medio siglo más tarde, en 1972, el Gobierno federal creó la Comisión Nacional de Desmontes para talar grandes áreas de selvas tropicales y convertirlas en nuevas tierras agrícolas y ganaderas bajo el supuesto fundamental de que las selvas eran “improductivas” y carecían de valor porque las maderas existentes en ellas eran “corrientes”.¹ Bajo estos supuestos, más ideológicos que científicos, se realizaron los grandes programas de tala de selvas en la década de

¹ Arcelia Amaranta Moreno Unda *et al.*, “El Programa Nacional de Desmontes en México”, en Miguel Aguilar Robledo, H. Reyes Hernández y O. Reyes Pérez (eds.), *La historia ambiental en México: Estudios de caso*, San Luis Potosí, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 2019, pp. 117-127.

1970, como el Plan Uxpanapa, el Plan Chontalpa y el Plan Balancán-Tenosique.²

Esta misma filosofía de modificar el medio ambiente silvestre a favor de uno supuestamente más productivo estuvo (y en muchos casos sigue estando) en la base conceptual de muchos grandes proyectos de desarrollo, como la construcción de grandes presas, el desecamiento de los lagos del altiplano, los megaproyectos de desarrollo turístico costero y la tala de los bosques de manglar a lo largo de las costas mexicanas.

Servicios ecosistémicos

Fue hasta décadas recientes que los investigadores científicos comenzaron a entender que los ecosistemas silvestres proporcionaban una gran cantidad de servicios que no habían sido evaluados en programas de desarrollo, como regulación del ciclo hidrológico, provisión de agua, retención de nutrientes, captura de dióxido de carbono atmosférico, hábitat para las pesquerías, regulación del clima local, protección contra huracanes y eventos climáticos

² Minerva Oropeza Escobar, "Poblamiento y colonización en el Uxpanapa: del distrito de drenaje al municipio libre", en *Sotavento*, vol. 5, 1998, pp. 129-178.

extremos, y muchísimos más.³ A partir de estos estudios comenzó a quedar claro que muchos procesos que mantienen la continuidad de la vida sobre la Tierra dependen críticamente de los ecosistemas silvestres y que, sin ellos, la vida en los ecosistemas transformados puede quedar gravemente limitada. En suma, sin los servicios de las tierras silvestres la supervivencia de nuestras ciudades y nuestros campos agrícolas puede deteriorarse hasta perder su viabilidad ambiental.

Los servicios ecosistémicos, entonces, se refieren a los diversos beneficios y recursos que los ecosistemas proporcionan a los seres humanos. Sabemos ahora que estos servicios son esenciales para el bienestar humano y que desempeñan un papel crucial en la continuidad de la vida sobre el planeta. Los servicios de los ecosistemas tienen una miríada de expresiones, y a riesgo de ser algo simplificadoros, podemos dividirlos en cuatro categorías principales: servicios de provisión, de regulación, culturales y de apoyo.⁴ Sin embargo, muchas veces los servicios pueden caer dentro de más de una categoría.

³ Patricia Balvanera *et al.*, “Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos”, en *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*, México, Conabio, 2009, pp. 185-245.

⁴ Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, *ecosystem services*, IPBES, disponible en <https://www.ipbes.net/glossary/ecosystem-services> (fecha de consulta: 20 de agosto de 2023); Patricia Balvanera *et al.*, *op. cit.*

Servicios de provisión. Muchos ecosistemas silvestres suministran de manera directa bienes y recursos de los que los humanos dependen para su supervivencia y actividades económicas, como alimentos (peces, carne, frutos, semillas y productos vegetales comestibles), agua (manantiales de agua dulce, ríos, lagos y acuíferos), productos forestales (leña, madera y productos para construcción) y plantas medicinales.

Servicios de regulación. Por la interconexión global de los grandes ecosistemas a través de la atmósfera, las corrientes y los flujos hídricos, los ecosistemas silvestres ayudan a regular los grandes procesos ambientales en todo el planeta. Algunos ejemplos incluyen: a) la regulación del clima (algunos ecosistemas naturales absorben grandes cantidades de dióxido de carbono y liberan oxígeno, ayudando a mitigar el incremento de gases de efecto invernadero); b) la regulación del ciclo del agua (humedales y bosques ayudan a regular el flujo del agua, reduciendo inundaciones y manteniendo la calidad del agua); c) el control de plagas (los depredadores naturales penetran en los sistemas agrícolas y pueden controlar las poblaciones de plagas); y d) la polinización (insectos, aves y murciélagos del medio silvestre facilitan la polinización de plantaciones y cultivos agrícolas).

Servicios culturales. Muchos ecosistemas silvestres proporcionan servicios con beneficios no materiales que contribuyen al bienestar humano y la identidad cultural. Estos servicios incluyen: a) la recreación y el turismo (paisajes naturales, parques y vida silvestre atraen grandes cantidades de turistas en distintas partes de México y proporcionan importantes oportunidades de ingreso para las poblaciones locales); b) valores espirituales y estéticos (los ecosistemas silvestres tienen un significado cultural, espiritual e identitario para muchas comunidades humanas); y c) educación e inspiración (el estudio y el contacto con la naturaleza inspiran expresiones artísticas y avanzan en la comprensión científica del mundo natural).

Servicios de apoyo. Por su sola existencia, los ecosistemas silvestres proveen espacios vitales para una infinidad de plantas y animales, tanto residentes como migratorias, y al hacerlo contribuyen a: a) generar hábitat para una compleja trama de especies silvestres; b) mantener la biodiversidad de especies, que es la base de la resiliencia y estabilidad de los ecosistemas; c) mantener la diversidad genética de especies silvestres; d) formar y mantener suelos fértiles; y e) reciclar nutrientes que sostienen la vida de las plantas.

Sabemos ahora que evaluar, conocer y conservar los servicios que nos aportan los ecosistemas es críticamente importante para la sustentabilidad ambiental y los esfuerzos de conservación en todo el planeta. Cuando un lago, por ejemplo, es desecado o un bosque es talado para un proyecto de desarrollo, los desarrolladores obtendrán el beneficio del nuevo destino de uso ambiental, pero la sociedad perderá, colectivamente, servicios de inmensa importancia, como abasto de agua de calidad, regulación del clima local, mitigación de ondas de calor, control de la erosión y retención de suelos, y diversidad de la vida silvestre, así como espacios culturales y recreativos, por mencionar sólo algunos. Los grandes proyectos de desarrollo, hasta ahora, rara vez consideran el impacto de la pérdida de servicios ecosistémicos y el costo que representará en la calidad de vida de la sociedad en general. Es urgente que las sociedades modernas puedan comprender y valorar estos servicios, y tomar decisiones informadas para proteger y mantener la salud de los ecosistemas.

Un caso demostrativo: los manglares de México

La historia de la conservación de los bosques de manglar en México es particularmente ilustrativa sobre la importancia de los servicios ecosistémicos y de la necesidad de integrar estas discusiones en la toma de decisiones

democrática en México. Hacia principios del milenio, la comunidad científica y conservacionista estaba enfocando su atención en la conservación de las selvas tropicales, percibidas como las principales víctimas de los proyectos de desarrollo sin consideraciones ambientales. Los manglares —unos extraordinarios bosques tropicales que prosperan en las lagunas costeras y pueden vivir sólo con agua de mar— rara vez figuraban en las grandes discusiones ambientales. Es más, para algunas instituciones gubernamentales la presencia de manglares en una región representaba un obstáculo serio para el desarrollo costero.

Por ejemplo, en diciembre de 2004, el Fondo Nacional de Fomento al Turismo (Fonatur) entregó gratuitamente más de 300 hectáreas de manglares a dos empresas privadas para desarrollar los proyectos turísticos Riviera Cancún y Novo Cancún. El área inundable —parte de la zona federal y, por lo tanto, patrimonio de la nación— no sólo se había regalado a la empresa, sino que la donación se había hecho con el propósito explícito de destruir el humedal para construir campos de golf y hoteles, bajo el argumento de que los manglares no proporcionaban ingresos económicos y, por lo tanto, no tenían valor alguno.⁵

⁵ *Newsweek México*, “Urbanismo salvaje en Tajamar”, en *Newsweek Español*, 31 de enero de 2016, disponible en <https://newsweekespanol.com/2016/01/urbanismo-salvaje-en-tajamar/> (fecha de consulta: 22 de julio de 2023).

En realidad, los desarrolladores tenían un argumento poderoso: hace dos décadas la comunidad científica no conocía en detalle el valor de los servicios ecosistémicos de los manglares, y era difícil, en consecuencia, argumentar con información robusta la importancia de este ecosistema y el valor real de los servicios que proporciona en estado silvestre. Para enfrentar este problema, muchos grupos de trabajo se pusieron a investigarlo.

Tomando en cuenta el producto interno bruto local para diferentes sectores de la costa en el golfo de México, en 2008 un grupo de investigadores mexicanos y americanos logró estimar que por cada hectárea de manglar talada el impacto local de un huracán se incrementa en promedio en unos 33 mil dólares. Anualizando este valor según la frecuencia y probabilidad de huracanes en el golfo, pudieron calcular que cada hectárea de manglar tiene un valor de 8.2 mil dólares sólo por los servicios de protección costera que brindan estos bosques.⁶ Simultáneamente, un estudio de un grupo de investigadores en el golfo de California pudo demostrar que el mangle rojo en las costas del golfo proporcionaba un hábitat de importancia crítica para las etapas juveniles de especies pesqueras que se capturan en

⁶ Robert Costanza *et al.*, "The value of coastal wetlands for hurricane protection", en *Ambio*, vol. 37, 2008, pp. 241-248.

mar abierto. Encontraron que por cada hectárea de mangle rojo en las costas se incrementa el valor de las capturas pesqueras en mar abierto en unos 37 mil dólares al año. Anualizando este valor como la *renta* del capital natural, pudieron estimar el valor de una hectárea de mangle rojo, el *capital natural*, en unos 650 mil dólares.⁷ Sobre la base de estos dos estudios fundacionales, muchos otros estudios fueron publicados sobre el valor de los servicios ecosistémicos de los manglares mexicanos, incluyendo el rol que juegan protegiendo las costas contra el ascenso del nivel del mar,⁸ el aporte de nutrientes orgánicos a la cadena trófica costera⁹ y la mitigación del incremento en gases de efecto invernadero a través de la captura e inmovilización de carbono atmosférico.¹⁰

⁷ Octavio Aburto-Oropeza *et al.*, "Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields", en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 105, 2008, pp. 10456-10459.

⁸ Xavier López-Medellín *et al.*, "Oceanographic anomalies and sea-level rise drive mangroves inland in the Pacific coast of Mexico", en *Journal of Vegetation Science*, vol. 22, 2011, pp. 143-151.

⁹ Xavier López-Medellín y Exequiel Ezcurra, "The productivity of mangroves in northwestern Mexico: a meta-analysis of current data", en *Journal of Coastal Conservation*, vol. 16, 2012, pp. 399-403.

¹⁰ Paula Ezcurra *et al.*, "Coastal landforms and accumulation of mangrove peat increase carbon sequestration and storage", en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 113, 2016, pp. 4404-4409.

La investigación científica y los esfuerzos de conservación han logrado cambiar el paradigma dominante. Ahora sabemos que los manglares proveen valiosos servicios ecosistémicos, que mantienen la productividad y la conservación de nuestras costas y hemos cuantificado el valor de estos servicios. Gracias a estos estudios, los manglares se encuentran legalmente protegidos por la legislación mexicana, y su conservación ha mejorado con la participación de amplios sectores de la población que han hecho de la conservación de los manglares un objetivo de acción social y un legado hacia el futuro.

La importancia de los servicios ecosistémicos

La evaluación de los servicios ecosistémicos en manglares avanzó vertiginosamente en dos décadas, impulsada por las grandes discusiones ambientales que se dieron en México a partir del 2004. A los esfuerzos de investigadores científicos se sumaron los excelentes estudios de inventario de manglares en México que realizó la Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad (Conabio), así como muchos esfuerzos de conservación e inventario que llevaron a cabo muchas organizaciones de la sociedad civil. Gracias a todos estos esfuerzos, sabemos que la lógica detrás de la destrucción de un manglar no se basa en el beneficio para la nación, porque los servicios ecosistémicos sumados en una hectárea de manglar son

mucho mayores que los que puede proveer, por ejemplo, un campo de golf o un nuevo desarrollo. Se basa, más bien, en la apropiación de un ecosistema propiedad de la nación que genera beneficios difusos a las poblaciones locales para convertirla, a través del sistema de concesión de la zona federal marítimo-terrestre, en un área que genera beneficios económicos sólo para el operador concesionario. En la raíz de la discusión sobre el valor de los manglares aparece un viejo conflicto entre lo público y lo privado, y subraya el hecho de que en la justicia social hay un componente fundamental de justicia ambiental.

Aunque no se han hecho estudios de la misma profundidad sobre el valor de los servicios ambientales en otros ecosistemas naturales, tienen sin duda similar importancia. Las cadenas de las sierras del Eje Volcánico Transversal —como los volcanes La Malinche, el Popocatepetl y el Iztaccíhuatl, la Sierra Nevada, Manantlán o el Nevado de Colima— aseguran el abasto de agua a las ciudades y regiones más pobladas de México, desde Puebla hasta Guadalajara. El valor de este servicio ecosistémico solamente, aunque no cuantificado en detalle, es sin duda inmenso. De manera muy grosera, tomando en cuenta que la población del corredor transversal (Puebla, Ciudad de México, Toluca, Guadalajara y el Bajío) albergan casi la mitad de la población del país, que la superficie boscosa

de las montañas del eje volcánico ocupa unos 5,000 km², y que el precio del agua en México oscila entre 4.68 pesos (ca. 0.25 dólares) para la tarifa social de bajo consumo y 35.86 pesos (unos dos dólares) para la tarifa comercial de alto consumo, es posible estimar que el valor de los servicios ecosistémicos de los bosques, sólo en abasto de agua, es de unos tres a seis mil millones de dólares al año, unos 600 mil a 1.2 millones de dólares anuales por kilómetro cuadrado.

A finales del siglo XVIII, Alejandro de Humboldt, al visitar México, notó el impacto de la deforestación en las laderas de estas montañas sobre el abasto de agua y el ciclo hidrológico, y resaltó la importancia de la conservación de los bosques para asegurar el abasto de agua a las ciudades.¹¹ Su exhorto fue oído. En 1876, el entonces Presidente de México, Sebastián Lerdo de Tejada, declaró los bosques del Desierto de los Leones como zona de reserva forestal e interés público con el fin de proteger y aprovechar los manantiales de agua que abastecían a la Ciudad de México. Desafortunadamente, el interés inicial de las autoridades de México por proteger los bosques como fuentes de agua se fue perdiendo, posiblemente

¹¹ Alejandro de Humboldt, *Ensayo Político sobre el Reino de la Nueva España*, París, Imprenta de J. Smith, 1822.

por la ilusión del último siglo de que el bombeo de agua de los acuíferos profundos podría resolvernos el enorme problema del abasto sustentable de agua.

Biodiversidad

La riqueza biológica de los ecosistemas

En las secciones anteriores hemos tratado de desarrollar dos conceptos fundamentales para entender la crisis ambiental global. En el capítulo uno, discutimos cómo la actividad de los seres humanos domina actualmente los grandes ciclos planetarios de materia y energía, y tiene como consecuencia más visible la acumulación descontrolada de gases de efecto invernadero en la atmósfera del planeta, el incremento continuo de las temperaturas globales, el derretimiento de los glaciares y los casquetes polares, y el ascenso acelerado del nivel medio del mar.

En el segundo capítulo analizamos y discutimos el concepto de servicios ecosistémicos, demostrando cómo los ecosistemas naturales nos proveen de servicios fundamentales para la vida, como la regulación del ciclo hidrológico; la captura y secuestro de gases de efecto invernadero; la regulación del clima; la protección contra la erosión y contra

los eventos climáticos extremos; el mantenimiento de las pesquerías y la salud de los mares; la provisión de agua potable, la captura de agua superficial y la recarga de acuíferos; el mantenimiento de la vida silvestre; el control de plagas, y la polinización de cultivos, entre muchos otros.

En este tercer capítulo nos referiremos a la compleja variedad de formas vivas y su valor intrínseco. Desde las décadas de 1950 y 1960 los científicos empezaron a desarrollar una teoría sobre la riqueza biológica de los ecosistemas naturales. Notaron que los ecosistemas silvestres contenían normalmente muchas más especies que los ecosistemas transformados, y que las actividades humanas tendían indefectiblemente a reducir y simplificar la composición de especies. Por ejemplo, una selva tropical puede contener hasta 300 especies de árboles en una hectárea,¹ los cuales, agregados a las epífitas como orquídeas, bromelias y helechos, las lianas y bejucos, y las plantas herbáceas del sotobosque, suman muchas veces cerca de mil especies por hectárea.

En cambio, una plantación moderna de teca, aunque superficialmente se pueda ver parecida, contiene una sola

¹ Egbert Giles Leigh Jr. *et al.*, "Why do some tropical forests have so many species of trees?", en *Biotropica*, vol. 36, núm. 4, 2004, pp. 447-473.

especie de árbol y unas pocas especies herbáceas en el sotobosque, dando un total de menos de 10 especies. De manera similar, un matorral en la Cuenca del Balsas, de donde es originario nuestro maíz, puede albergar unas 100 especies nativas por hectárea, una milpa mesoamericana tradicional normalmente cobija de 10 a 20 especies por hectárea, y un cultivo industrial moderno de maíz, en Iowa, por ejemplo, alberga sólo una especie —el propio maíz— porque cualquier otra planta que crezca allí es rápidamente eliminada por medio de herbicidas. Podemos hacer este ejercicio en cualquier otro ecosistema, como una pradera contra un pastizal cultivado de cebada o de alfalfa, un arrecife costero contra un estanque de acuicultura, o un matorral desértico de cactáceas y mezquites contra una plantación de jjoba, y veremos que la consecuencia principal del cambio en el uso del suelo, de ecosistemas naturales a ecosistemas transformados, es una disminución dramática en el número de especies.

Esta disminución de la complejidad biológica es de la mayor importancia porque como regla general los ecosistemas dominados por una sola especie (o unas pocas) son mucho más vulnerables a cualquier cambio ambiental. Un patógeno o una plaga adaptados a la especie dominante, por ejemplo, pueden desencadenar una epidemia que colapse todo el ecosistema. Asimismo, si un evento climático

extremo coincide con los umbrales de sensibilidad de la especie dominante, el ecosistema entero se derrumbará. Al desaparecer las especies acompañantes, las especies dominantes se hacen mucho más vulnerables porque desaparecen también las interacciones positivas entre plantas: los cactus, por ejemplo, necesitan la sombra de leguminosas leñosas —las llamadas *plantas nodriza*— para poder germinar y establecerse. Las leguminosas leñosas necesitan bacterias del suelo para fijar nitrógeno atmosférico, así como aves y pequeños mamíferos para dispersar sus semillas. A su vez, las aves y los pequeños mamíferos necesitan el hábitat de los cactus para protegerse y desarrollarse. En los ambientes silvestres la cadena de interacciones hace que las especies se apoyen entre sí y el ecosistema se hace mucho más resistente a las alteraciones ambientales o las catástrofes de cualquier tipo. En los ecosistemas modificados por los humanos, esta propiedad —llamada *resiliencia*— se hace mucho más débil y obliga a los productores a emplear todo tipo de insumos industriales para mantener la productividad del sistema, como fertilizantes nitrogenados, herbicidas, insecticidas y hormonas, todo lo cual eventualmente se acumula en suelos, cuerpos de agua y en nuestros propios organismos, con graves daños para el medio ambiente y para la salud humana. En resumen, la heterogeneidad biológica de un conjunto de organismos vivos es una

propiedad importante de los ecosistemas, y los investigadores la llamaron *diversidad biológica* o *biodiversidad*.

El concepto y, sobre todo, la medición de la biodiversidad creció rápidamente porque se desarrolló al mismo tiempo que la teoría matemática de la información, y ambas —diversidad e información— se miden de la misma manera. Un cultivo industrial de soya, por ejemplo, es equivalente a una biblioteca con millones de volúmenes del mismo libro; el número de ejemplares es grande, pero el contenido de información es mínimo porque todos los ejemplares contienen textos idénticos. Una selva tropical, por otro lado, es equivalente a una biblioteca de gran riqueza de colecciones; el número de ejemplares puede ser similar al caso anterior, pero el contenido de información es inmensamente mayor. Los avances posteriores en genética molecular demostraron que esta similitud no es sólo metafórica; la variabilidad entre organismos está determinada por su código genético presente en el ADN de sus células. Todas las diferencias entre especies o entre individuos dentro de una especie se deben a diferencias en sus respectivos códigos genéticos. La biodiversidad, entonces, es en sentido estricto una medida de la cantidad de información codificada en el conjunto de organismos en un ecosistema.

A finales de los años setenta, la comunidad científica había desarrollado una robusta teoría de la biodiversidad que empezó a ser utilizada en todo el mundo para medir la pérdida de riqueza biológica en el planeta, producto de la transformación de los ecosistemas. En 1992, México creó la Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad, que ha sido un impulsor fundamental de la conservación del patrimonio biológico de la nación y de la defensa y protección de la biodiversidad a nivel internacional.

¿Por qué es importante la diversidad biológica?

La biodiversidad, en resumen, se refiere a la variedad de formas de vida que existen en nuestro planeta, incluyendo todas las especies de plantas, animales, hongos y microorganismos, así como los ecosistemas en los que viven. Se expresa en diferentes niveles: a nivel del paisaje, se mide por la cantidad de ecosistemas diferentes en una región; a nivel de un ecosistema, se mide por la riqueza de especies presentes. Finalmente, dentro de una especie, se mide por la variación genética, es decir, la cantidad de variedades genéticas que la especie posee.

El concepto de biodiversidad trajo una perspectiva totalmente nueva a las ciencias de la conservación de la naturaleza al demostrar que la importancia de la riqueza

biológica en el mundo natural va mucho más allá de la acción aparentemente romántica de proteger plantas y animales silvestres. Ahora sabemos que la importancia de la biodiversidad es incalculable. Una gran parte de las medicinas que consumimos provienen de productos naturales obtenidos de plantas silvestres, como la aspirina, el analgésico más común; la digitalina, usada para tratar afecciones cardíacas; la atropina, un poderoso antiespasmódico y dilatador de la pupila; la quinina, el tratamiento por excelencia contra la malaria; la morfina y otros poderosos analgésicos extraídos de la amapola; y el taxol, un medicamento utilizado en el tratamiento de varios tipos de cáncer, entre muchos otros.

La importancia de la biodiversidad en nuestra seguridad alimentaria es, asimismo, inmensa. Todos los cultivos que mantienen a la humanidad provienen de parientes silvestres que fueron domesticados de seis a 10 mil años atrás por los agricultores de distintas regiones del mundo. El maíz, por ejemplo, fue domesticado en Mesoamérica hace seis u ocho mil años,² y es hoy la principal fuente de calorías que alimenta a la humanidad. El arroz, domesticado hace

² Silverio García-Lara y Sergio O. Serna-Saldivar, "Corn History and Culture", en Sergio O. Serna-Saldivar (ed.), *Corn: Chemistry and Technology*, AACC International Press, 2019, pp. 1-18.

también ocho o nueve mil años en el sureste asiático,³ es la segunda fuente de calorías para la humanidad, seguido de cerca por el trigo, domesticado en el Medio Oriente, y la papa, domesticada en los Andes sudamericanos.

A pesar de los avances de la biotecnología, todos los cultivos dependen críticamente de la variabilidad genética que existe en sus ancestros silvestres o en las variedades tradicionales que se cultivan en su región de origen, usualmente asociadas a la presencia de ancestros silvestres. De estas variedades tradicionales y especies silvestres, los fitomejoradores —los agrónomos que desarrollan nuevas variedades comerciales— obtienen combinaciones genéticas novedosas para introducir en las variedades comerciales y así conferirles nuevos rasgos de importancia agrícola, como resistencia a enfermedades, calidad nutricional del grano, resistencia a sequías, precocidad del ciclo de vida, y muchas más. La importancia de estas variedades silvestres o tradicionales es tan grande que muchos gobiernos y muchas compañías productoras de variedades cultivadas han hecho esfuerzos por almacenar la biodiversidad de plantas estratégicamente importantes en repositorios de semillas llamados *bancos de germoplasma*. Pero muchos

³ Ewen Callaway, “Domestication: The birth of rice”, en *Nature*, vol. 514, 2014, pp. S58-S59.

de estos bancos de germoplasma han fracasado porque el proceso de evolución de las semillas en el medio natural no es estático ni puede congelarse en un banco. Cada año, los agricultores tradicionales, al sembrar sus cultivos y seleccionar las plantas más exitosas para propagar como nuevas semillas, están haciendo una extraordinaria labor de selección genética y de mejoramiento vegetal frente a condiciones ambientales dinámicas y cambiantes. En resumen, los agricultores tradicionales e indígenas no sólo son los que mantienen la más alta diversidad de cultivos y de ecosistemas silvestres, sino que también son los que brindan a todo el mundo un proceso de selección y mejora continua del material genético que forma la base de la agricultura moderna y mantiene la seguridad alimentaria del planeta.⁴

La biodiversidad global está en riesgo

Sabemos, con certeza, que la biodiversidad contribuye a la producción de alimentos, medicinas, materiales y recursos esenciales para la supervivencia humana. Además, sabemos que los ecosistemas ricos en biodiversidad tienen una mayor resiliencia frente a perturbaciones y son

⁴ Mauricio R. Bellón *et al.*, "Evolutionary and food supply implications of ongoing maize domestication by Mexican campesinos", en *Proceedings of the Royal Society B*, vol. 285(1885), 2018, p. 20181049.

un importante elemento de mitigación frente a los estragos del cambio ambiental global y el incremento de los gases de efecto invernadero. Asimismo, pueden proporcionar servicios ecosistémicos como la purificación del aire y el agua, el control de plagas y la polinización de cultivos. La biodiversidad también incluye la variabilidad genética dentro de cada especie, lo que permite que se adapten a cambios ambientales y evolucionen con el tiempo en un ambiente que se transforma cada vez más rápido. En resumen, la diversidad biológica es esencial para mantener la estabilidad global de los ecosistemas y para el bienestar de los seres humanos. Aunque no se haya estudiado cada una en detalle, sabemos que cada especie juega un papel único en su ecosistema, y que la interacción entre diferentes especies y su ambiente permite que la vida prospere en la Tierra.

Lamentablemente, la biodiversidad está enfrentando serias amenazas debido a los efectos de las actividades humanas, como la deforestación, la contaminación, el cambio climático, la sobreexplotación de recursos y la destrucción de hábitats. La pérdida de biodiversidad puede tener consecuencias graves para la vida en la Tierra, incluyendo la pérdida de especies, la alteración de ecosistemas y la disminución de la resiliencia de nuestro entorno para hacer frente a los desafíos futuros. Por ello, la conservación

y protección de la biodiversidad se han convertido en cuestiones críticas para garantizar un futuro sostenible para las generaciones venideras.

¿Cuánto hemos perdido en biodiversidad planetaria? Cuantificar esta pérdida en detalle es un gran desafío, pero la información de la que disponemos hasta el presente es preocupante. Un ejemplo es el orden de los mamíferos como caso de estudio: un grupo de investigadores de Israel ha calculado qué proporción de la biomasa de mamíferos en el mundo corresponde a fauna silvestre, cuánto a animales domésticos como vacas y cerdos, y cuánto a la biomasa de los seres humanos.⁵ Los resultados son sorprendentes, la biomasa total estimada de mamíferos terrestres silvestres en el planeta es de aproximadamente 20 millones de toneladas y la biomasa de mamíferos marinos es de unos 40 millones de toneladas. Como comparación, la biomasa de ganado doméstico en el planeta es de unos 630 millones, y la de la población humana es de 390 millones de toneladas. Es decir, la masa corporal de los humanos representa el 36% de toda la biomasa de mamíferos en el planeta, y la de mamíferos domésticos, el 58%. Juntos, humanos y ganado, sumamos el 94%

⁵ Lior Greenspoon *et al.*, "The global biomass of wild mammals", en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 120(10), 2023, p. e220489212.

de toda la biomasa de mamíferos en el planeta. Los mamíferos marinos, que incluyen a las grandes ballenas y otros cetáceos, representan el 4%, y los mamíferos terrestres, sólo el 2%. Es decir, de la biomasa total de mamíferos en el planeta, algo menos del 2% corresponde a mamíferos silvestres, un grupo taxonómicamente heterogéneo, rico en especies y de muy alta diversidad. Según los autores, “esta evaluación cuantitativa de la vida silvestre, cuando se la compara con la biomasa de los humanos y del ganado doméstico, nos lleva a desechar la noción de que la vida silvestre es abundante, y nos provee un argumento de gran peso a favor de la urgente conservación de la naturaleza y de la vida silvestre”

Este estudio, desafortunadamente, confirma las conclusiones de muchos otros realizados previamente, los cuales, a su vez, confirman un proceso de extinción masiva de la fauna silvestre durante el Antropoceno. En distintos estudios, Gerardo Ceballos y Rodolfo Dirzo⁶ han demostrado que un tercio o más de la fauna de vertebrados terrestres —unas nueve mil especies de mamíferos, aves, reptiles y anfibios— está decreciendo rápidamente tanto en tamaño

⁶ Gerardo Ceballos *et al.*, “Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines”, en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 114, 2017, pp. E6089-E6096; Rodolfo Dirzo *et al.*, “Defaunation in the Anthropocene”, en *Science*, vol. 345, 2014, pp. 401-406.

poblacional como en área de distribución. Globalmente, la biosfera está experimentando un episodio masivo de colapsos poblacionales y extinciones locales, una *aniquilación biológica* que tendrá consecuencias en cascada sobre los servicios de los ecosistemas silvestres que son vitales para mantener nuestra propia civilización.

El fenómeno de pérdida de biodiversidad animal es tan notorio y su escala es tan grande, que algunos científicos la han llamado la *sexta extinción masiva* en la historia de la Tierra.⁷ También conocida como *Extinción Masiva del Holoceno* o *Extinción Antropogénica*, el concepto trata de definir el evento de extinción masiva de especies que está ocurriendo en la época actual —el Antropoceno— causado principalmente por actividades humanas. Fue llamada *sexta* porque a lo largo de la historia geológica del planeta han habido cinco extinciones masivas previas, en las que se perdieron grandes cantidades de especies en un corto periodo de tiempo debido a cambios ambientales significativos.⁸ La más conocida es la extinción del Cretácico-Paleógeno (K-Pg) hace unos 66 millones de años, que llevó a la desaparición de los grandes dinosaurios

⁷ Anthony D. Barnosky *et al.*, "Has the Earth's sixth mass extinction already arrived?", en *Nature*, vol. 471, 2011, pp. 51-57.

⁸ *Ibid.*

después de que un cometa de gran tamaño impactara la Tierra creando el gran cráter de Chicxulub⁹ en lo que es actualmente el norte de la península de Yucatán.

En contraste con las anteriores, la actual extinción masiva está impulsada principalmente por las actividades humanas, como la destrucción y fragmentación de hábitats, la contaminación, la sobreexplotación de recursos naturales, la introducción de especies invasoras y el cambio climático, entre muchos otros impactos derivados de nuestras actividades industriales y de desarrollo. Los estudios arriba mencionados estiman que la tasa de extinción actual es entre cien y mil veces más alta que la tasa de extinción natural previa a la influencia humana. Todos los estudios, sin excepción, nos advierten que esta pérdida de biodiversidad puede tener efectos devastadores en los ecosistemas, afectando a otras especies, incluidos los seres humanos, que —como ya lo hemos discutido— dependemos de la biodiversidad para obtener alimentos, medicinas y servicios ecosistémicos vitales. La lucha contra la sexta extinción biológica se ha convertido en un tema fundamental en el contexto de las acciones para mitigar

⁹ Jan Smit y Jan Hertogen, "An extraterrestrial event at the Cretaceous-Tertiary boundary", en *Nature*, vol. 285, 22 de mayo de 1980, pp. 198-200.

el cambio ambiental global y promover la conservación y la protección del medio ambiente.

La crisis global de la biodiversidad no se restringe sólo a la fauna de vertebrados. Otros grupos taxonómicos, como los insectos, sufren colapsos similares¹⁰ con la pérdida consecuente de importantísimos servicios ecosistémicos, como la polinización de cultivos, la producción de miel, la descomposición de la materia orgánica y el control de plagas por insectos parasitoides.

Por su importancia en la productividad planetaria, las plantas merecen atención especial. Gracias a estudios detallados con sensores remotos a gran escala, sabemos que más del 30% de la productividad primaria neta fotosintetizada por las plantas terrestres es capturada por sistemas humanos como cultivos, pastizales y plantaciones hortícolas o forestales, o por plantas ruderales asociadas a la alteración humana de los ecosistemas.¹¹ Estudios similares estiman que casi un 40% de la superficie del planeta

¹⁰ Gretchen Vogel, "Where have all the insects gone?", en *Science*, vol. 356, 2017, pp. 576-579; Francisco Sánchez-Bayo y Kris A.G. Wyckhuys, "Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers", en *Biological Conservation*, vol. 232, 2019, pp. 8-27

¹¹ Helmut Haberl *et al.*, "Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems", en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 104, 2007, pp. 12942-12947.

ha sido transformada irreversiblemente de ecosistemas silvestres a ecosistemas agrícolas, pero buena parte del 60% restante ha sido transformado por poblaciones humanas de baja densidad, caminos, líneas de transmisión, ductos o presas de agua en ríos y arroyos.¹²

Este efecto complejo y multifactorial ha sido llamado la *huella humana* en la superficie del planeta. Sin duda, la expansión de la agricultura ha sido una de las principales causas de la deforestación y la pérdida de hábitats naturales en muchas partes del mundo, pero la huella humana es mucho más compleja que el solo cambio en el uso del suelo. En México, el impacto de las actividades humanas sobre las tierras silvestres ha tenido un efecto negativo sobre la biodiversidad y los ecosistemas. El 44% de las tierras silvestres del país ha sido modificado por la agricultura y la urbanización, llevando a la pérdida de especies y la fragmentación de hábitats.¹³

¹² Eric W. Sanderson *et al.*, "The Human Footprint and the Last of the Wild: The human footprint is a global map of human influence on the land surface, which suggests that human beings are stewards of nature, whether we like it or not", en *BioScience*, vol. 52, 2002, pp. 891-904.

¹³ Charlotte González-Abraham *et al.*, "The Human Footprint in Mexico: Physical Geography and Historical Legacies", en *PLOS ONE*, 10(3), 2016, p. e0121203.

La fragmentación del hábitat, producto de la transformación en el uso del suelo, tiene un efecto negativo de gran importancia sobre la biodiversidad, principalmente en ambientes tropicales. Una vez que una región ha sido deforestada por la agricultura, los remanentes de selva virgen que permanecen pierden viabilidad para su conservación en el largo plazo.¹⁴ Numerosos esfuerzos por conservar fragmentos de selva han fracasado porque en una pequeña fracción muchos de los servicios de la biodiversidad se ven afectados. Los remanentes pequeños de selva son más vulnerables a los impactos de eventos climáticos extremos, como huracanes y sequías, que debilitan los árboles y los derriban, sobre todo en los bordes desprotegidos del fragmento, abriendo claros en el dosel de la selva. Las selvas fragmentadas, asimismo, no alcanzan a mantener fauna de gran tamaño, como tapires, venados, pecaríes o algunas especies de monos, que son eficaces dispersores de semillas. Al perder estos servicios, los ecosistemas fragmentados no alcanzan a mantenerse y reproducirse, y eventualmente decaen pese a los esfuerzos de conservación.

¹⁴ Miguel Martínez-Ramos *et al.*, "Anthropogenic disturbances jeopardize biodiversity conservation within tropical rainforest reserves", en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 113, 2016, pp. 5323-5328.

La defensa de la biodiversidad

La biodiversidad está muy asociada al concepto de los servicios ecosistémicos. Es claro para la ciencia que tanto la simplificación de los ecosistemas que genera la agricultura moderna como la extinción de especies producto de la degradación de los ecosistemas naturales acaban destruyendo importantes servicios ambientales. La biodiversidad está intrínsecamente ligada al bienestar humano y a la salud de los ecosistemas a través de múltiples razones, discutidas en este capítulo:

1. Contribuye a la estabilidad y resiliencia de los ecosistemas. Los ecosistemas biodiversos pueden recuperarse más fácilmente de perturbaciones naturales o inducidas por el ser humano, como incendios, sequías o inundaciones.
2. La biodiversidad es la base de la producción de alimentos sostenibles. Diferentes cultivos y variedades de plantas y animales nos proporcionan una dieta diversa y equilibrada.
3. Muchas medicinas y productos farmacéuticos se derivan de plantas, animales y microorganismos presentes en la biodiversidad.

4. La diversidad biológica nos provee materiales como madera, fibras textiles y otros recursos esenciales.
5. La biodiversidad desempeña un papel clave tanto en la polinización de cultivos por insectos y otros polinizadores, como en el mantenimiento de la fertilidad del suelo por los microorganismos del suelo; ambos procesos son vitales para la agricultura.
6. Los ecosistemas biodiversos, como los bosques y los océanos, desempeñan un papel fundamental en la regulación del clima, ayudando a capturar y almacenar dióxido de carbono y a mitigar el cambio climático.
7. La biodiversidad es parte integral de las culturas y tradiciones de muchas comunidades indígenas y locales, y tiene un valor espiritual y estético para la sociedad en general. También atrae a turistas y visitantes a áreas naturales protegidas, contribuyendo así a la economía y al desarrollo local.
8. La biodiversidad en los océanos, ríos y lagos es esencial para mantener la salud de estos ecosistemas acuáticos y apoyar la pesca sostenible.

La pérdida de biodiversidad, como resultado de la deforestación, la urbanización, la contaminación, el cambio climático y otras actividades humanas, puede tener consecuencias devastadoras para la salud de los ecosistemas y la sostenibilidad del planeta. Proteger la biodiversidad es esencial para garantizar un futuro saludable y sostenible para las generaciones futuras y para todas las formas de vida en la Tierra.

Justicia y gobernanza ambiental

Como hemos expuesto en los capítulos anteriores, el planeta está viviendo una crisis ambiental sin precedentes. Los gases de efecto invernadero se acumulan rápidamente en la atmósfera, las temperaturas globales están subiendo y los golpes de calor en verano se están haciendo cada año más extremos. Los glaciares y los casquetes polares se están derritiendo, haciendo subir el nivel medio del mar a una tasa de 3 a 5 mm por año que continúa acelerándose. Los servicios ecosistémicos están decayendo en muchas partes del planeta, con el deterioro de nuestra capacidad para capturar agua superficial, recargar acuíferos, proteger estuarios y costas, capturar CO₂ atmosférico, y generar hábitat para pesquerías y fauna silvestre. La biodiversidad global se encuentra en rápido descenso, en un proceso que amenaza a más del 50% de las especies de vertebrados silvestres,¹ y la fragmentación de selvas y bosques

¹ Gerardo Ceballos *et al.*, *op. cit.*

continúa a pesar de los esfuerzos por mantener áreas naturales protegidas.

Las consecuencias han ido progresando durante las últimas décadas. Por ejemplo, hace dos décadas, en 1998, una anomalía extraordinaria en la temperatura del mar produjo una sequía en los bosques y selvas del centro y sur de México,² que disparó incendios que quemaron más de medio millón de hectáreas y emitieron a la atmósfera 46 millones de toneladas de CO₂,³ exacerbando aún más la emisión nacional de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Los fenómenos climáticos extremos han continuado azotando a México y al mundo durante las últimas décadas. Los años 2021 y 2022 albergaron la sequía histórica más grande de la que se tenga registro en el noroeste de

² Margarita Caso *et al.*, "Divergent ecological effects of oceanographic anomalies on terrestrial ecosystems of the Mexican Pacific coast", en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 104, núm. 25, 2007, pp. 10530-10535.

³ Michael A. Cairns *et al.*, *Carbon emissions from spring 1998 fires in tropical Mexico*, Washington D. C., Department of Energy, 1999, disponible en <https://www.osti.gov/biblio/339581> (fecha de consulta: 15 de julio de 2023).

México y el sureste de los Estados Unidos,⁴ la cual secó todas las grandes presas del Río Colorado y puso en graves apuros a las ciudades fronterizas de Sonora, Baja California, Arizona y California. Un estudio detallado con anillos de crecimiento en árboles de larga vida demuestra que la sequía de 2021-2022 fue más intensa que cualquier evento similar en por lo menos 1,600 años.⁵

En el verano de 2023 el hemisferio norte presenció eventos climáticos extremos que fueron realmente catastróficos en todas las longitudes, desde inundaciones trágicas en China, incendios forestales en toda la cuenca del Mediterráneo en una escala nunca antes vista, y golpes de calor en una miríada de ciudades que sobrepasan todos los registros anteriores existentes. Según la Organización Meteorológica Mundial —basada en los datos minuciosos del Programa Copérnico de la Unión Europea—, el mes

⁴ Richard Seager *et al.*, “Mechanisms of a Meteorological Drought Onset: Summer 2020 to Spring 2021 in Southwestern North America”, en *Journal of Climate*, núm. 35, 2022, pp. 7367-7385; Justin S. Mankin *et al.*, *NOAA Drought Task Force Report on the 2020–2021 Southwestern U.S. Drought*, NOAA Drought Task Force IV, NOAA, Boulder, Colorado, 2021, disponible en <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/46463> (fecha de consulta 20 marzo de 2023).

⁵ A. Park Williams *et al.*, “Rapid intensification of the emerging southwestern North American megadrought in 2020–2021”, en *Nature Climate Change*, núm. 12, 2022, pp. 232-234.

de julio de 2023 ha sido el más caliente del que se tenga registro.⁶ Correlativamente, las temperaturas superficiales de los océanos han alcanzado asimismo un récord global, con mortalidad masiva de corales en las costas de la Florida, de las cuales es probable que la región ya no se pueda recuperar.⁷ Estudios rigurosos de investigación demuestran que estos eventos climáticos extremos y la acelerada degradación ambiental global son producto directo e innegable de las actividades humanas en la biosfera.⁸ Los humanos no sólo controlamos, consciente o inconscientemente, los flujos de materia y energía en el gran ecosistema global, sino que tenemos la responsabilidad ética de desarrollar acciones para mitigar el daño ambiental global y detener la degradación ecológica del planeta.

⁶ Copernicus Climate Change Newsletter, *July 2023 sees multiple global temperature records broken*, Copernicus Climate Change Newsletter, 8 de agosto 2023, disponible en <https://climate.copernicus.eu/july-2023-sees-multiple-global-temperature-records-broken> (fecha de consulta: 10 de agosto de 2023).

⁷ Elena Shao, "What This Year's 'Astonishing' Ocean Heat Means for the Planet", en *The New York Times*, 3 de agosto de 2023, disponible en <https://www.nytimes.com/interactive/2023/08/03/climate/ocean-temperatures-heat-earth.html> (fecha de consulta: 8 de agosto de 2023).

⁸ Felicia Chiang *et al.*, "Evidence of anthropogenic impacts on global drought frequency, duration, and intensity", en *Nature Communications*, núm. 12, 12 de mayo de 2021.

Pero los impactos negativos de las grandes transformaciones ambientales no se distribuyen equitativamente. Hay grupos humanos mucho más vulnerables frente a la crisis ambiental que otros. Por ejemplo, mientras que los Países Bajos han realizado acciones eficaces para mitigar los efectos negativos del ascenso del nivel del mar, los pobladores de algunas islas pequeñas y atolones del Pacífico, como Kiribati o las Islas Salomón, están enfrentando un deterioro acelerado en sus condiciones de vida o se han visto obligados a emigrar debido al ascenso de las aguas del océano Pacífico.⁹ Es decir, un mismo cambio ambiental de origen antropogénico puede tener impactos muy diferentes en sociedades o poblaciones ricas en recursos económicos para hacerle frente, comparadas con sociedades más pobres y, por lo tanto, más vulnerables. La injusticia de esta diferencia es patente en el ejemplo que acabamos de discutir porque mientras los Países Bajos han contribuido de manera importante a la emisión de los gases de efecto invernadero que impulsan el ascenso del nivel del mar, la contribución de los habitantes de las islas del Pacífico ha sido insignificante. Varios pensadores que analizan la relación entre la crisis ambiental global y la

⁹ Organización Mundial de la Salud, *Human health and climate change in Pacific Island countries*, Manila, Regional Office for the Western Pacific, 4 de noviembre de 2015, disponible en <https://www.who.int/publications/i/item/9789290617303> (fecha de consulta: 12 de agosto de 2023).

distribución de estos impactos en los diferentes sectores de la sociedad se han referido a estos dilemas bajo el nombre de *justicia ambiental*.

La importancia de la justicia ambiental

La justicia ambiental, entonces, se refiere a las desigualdades en la distribución de los impactos negativos ambientales y las cargas asociadas con la degradación del medio ambiente entre países, entre sociedades o entre clases sociales. Esta perspectiva sostiene que las comunidades y grupos marginados, en muchos casos poblaciones de bajos ingresos, minorías étnicas y grupos vulnerables, tienden a sufrir de manera desproporcionada los efectos adversos de la contaminación, la degradación del medio ambiente y el cambio climático.

Una de las grandes vertientes del concepto de justicia ambiental se puede encontrar en la extraordinaria obra del economista ambiental catalán Joan Martínez-Alier. Desde la década de 1960, los estudios de Martínez-Alier han subrayado la importancia de entender “el ecologismo de los pobres”,¹⁰ es decir, de entender la perspectiva de los

¹⁰ Joan Martínez-Alier *et al.*, “Is there a global environmental justice movement?”, en *The Journal of Peasant Studies*, vol. 43, 2016, pp. 731–755, DOI: 10.1080/03066150.2016.1141198

sectores sociales más desprotegidos, cuya preocupación por el medio ambiente se asienta en su lucha histórica para “obtener las necesidades ecológicas para la vida: energía, agua y espacio para albergarse”¹¹ En contraste con los ambientalistas del mundo desarrollado o de las clases sociales ilustradas como, por ejemplo, los científicos ambientales, para el ecologismo de los pobres la defensa del medio ambiente no está motivada por ideales o sentimientos abstractos respecto de la naturaleza, sino que surge como respuesta de los pobres —principalmente los indígenas y campesinos del sur global— ante una situación muy concreta y totalmente materialista: el deterioro del ambiente en el que viven, con la consiguiente imposibilidad de obtener el sustento.¹²

Los conceptos de Martínez-Alier y sus colaboradores fueron pioneros en explicar cómo distintas extracciones sociales podían dar sesgos marcadamente diferentes a la percepción del deterioro ambiental, y sentaron las bases para el concepto de justicia ambiental y la necesidad de tomarla prioritariamente en cuenta en la gobernanza

¹¹ Joan Martínez-Alier, *De la economía ecológica al ecologismo popular*, 2ª ed., Icaria, 1994.

¹² Joan Martínez-Alier y Jordi Roca Jusmet, *Economía ecológica y política ambiental*, México, Fondo de Cultura Económica, 2000.

del ambiente y en la resolución de los desafíos del cambio climático global.¹³

El ideal de la justicia ambiental aboga por un enfoque equitativo en la toma de decisiones relacionadas con políticas y regulaciones ambientales, así como por el acceso igualitario a los recursos naturales y beneficios ambientales. Esto implica no sólo asegurar que las cargas ambientales se distribuyan de manera justa, sino también garantizar que todas las personas tengan la oportunidad de participar en la toma de decisiones que afecten su entorno y calidad de vida.

Algunos de los temas clave que la justicia ambiental aborda incluyen la contaminación del aire y del agua en comunidades desfavorecidas, la ubicación de instalaciones industriales y tóxicas en áreas habitadas por poblaciones vulnerables, la falta de acceso a espacios verdes y entornos saludables en ciertas zonas, así como la consideración de las perspectivas indígenas y culturales en la gestión ambiental.¹⁴

¹³ Joan Martínez-Alier *et al.*, *op. cit.*

¹⁴ Joan Martínez-Alier, *Land, Water, Air and Freedom: The Making of World Movements for Environmental Justice*, Reino Unido, Cheltenham, Edward Elgar Publishing, 2023.

En resumen, la justicia ambiental busca equidad y participación inclusiva en asuntos ambientales, con el objetivo de crear un entorno más saludable y sostenible para todas las personas, sin importar su origen étnico, nivel socioeconómico o ubicación geográfica. En México se han dado fuertes polémicas sociales alrededor de la apropiación de los recursos naturales y, sobre todo, del agua. Los grandes conflictos alrededor de la apropiación del agua a partir del transvase de cuencas, tomando agua de grupos campesinos para llevarla a centros urbanos con mayor poder económico, han sido motivo de fuertes movilizaciones sociales. La defensa campesina de las aguas del Río Temascaltepec frente al transvase de agua del Sistema Cutzamala hacia la Cuenca de México,¹⁵ y el conflicto social alrededor de la construcción del Acueducto Independencia en el estado de Sonora, que va de la presa El Novillo, en la cuenca del río Yaqui, a la ciudad de Hermosillo, en la cuenca del río Sonora, con capacidad de transvasar 75 millones de m³ de agua al año,¹⁶ apropiándose de un caudal que era utilizado por la comunidad yaqui para poder satisfacer las necesidades de agua en la capital,

¹⁵ Valentina Campos Cabral y Patricia Ávila-García, "Entre ciudades y presas. Oposición campesina al trasvase de agua y la defensa del río Temascaltepec, México", en *Revista de Estudios Sociales*, núm. 46, mayo de 2013, pp. 120-133.

¹⁶ José Luis Moreno Vázquez, *Despojo de agua en la cuenca del río Yaqui*, Hermosillo, El Colegio de Sonora, 2015.

Hermosillo, son dos casos paradigmáticos de conflictos sociales cuyo eje principal es la justicia ambiental.

Un caso demostrativo: el agua en la Cuenca de México

Aunque quizás menos conocido que los casos anteriores, la justicia distributiva del agua en la Cuenca de México es también un ejemplo claro de cómo las crisis ambientales globales son muchas veces resueltas, consciente o inconscientemente, en perjuicio de grupos vulnerables. En efecto, con cada vez mayor frecuencia, muchos de los migrantes mexicanos que llegan a los Estados Unidos provienen del oriente de la Cuenca de México; ya no sólo de regiones depauperadas por la degradación de los bosques, la violencia o la marginación rural. Al hablar con estos emigrados urbanos, nos sorprende oír sus razones: la causa principal que arguyen como motor de su decisión a migrar es la degradación ambiental en general y la crisis del agua en el oriente de la ciudad en particular. Aunque no lo definen con esas palabras, podrían considerarse según su propia descripción como refugiados ambientales.

Desde hace décadas, grandes científicos mexicanos como el Dr. Marcos Mazari, por ejemplo, han argumentado con vehemencia que el hundimiento del subsuelo producido por el bombeo del acuífero de la Cuenca de México llevaría tarde o temprano a situaciones catastróficas. Cuando el

hundimiento del Centro Histórico comenzó a ser un problema severo, en los años sesenta y setenta, el bombeo se trasladó al este de la cuenca. Hacia finales del siglo XX, el hundimiento en Chalco estaba progresando a una tasa de hasta 40 cm por año en algunas partes. La ciencia sabía que la zona sureste enfrentaría una seria crisis tarde o temprano. Los planteamientos de muchos investigadores fueron oportunamente publicados por El Colegio Nacional. Es fácil deducir que, si en los años noventa Chalco se estaba hundiendo a una tasa de 40 centímetros por año, en este momento debe haberse hundido varios metros respecto de ese nivel base.

Por esa razón, con frecuencia el oriente de la ciudad se anega con aguas negras cuando la ciudad se inunda después de chaparrones intensos en temporadas de lluvia: es ahora el punto más bajo de la cuenca, y los canales cloacales, desbordados, fluyen naturalmente hacia allá cuando la ciudad se encharca. Esta sola razón es más que suficiente para impulsar a muchos pobladores a emigrar. Pero la situación para los habitantes del oriente de la cuenca es aún más difícil. En tiempos de secas son los primeros en quedarse sin agua, a pesar de que el agua que alimenta a la Ciudad de México sale, en buena medida, de su propio subsuelo. La razón de esto es, sencillamente, la inequidad en la distribución del agua, cada vez más

escasa en la ciudad. El Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Sacmex) reporta un abasto per cápita para los habitantes de la ciudad de unos 300 litros por persona al día,¹⁷ pero este número no refleja la trágica dimensión de la inequidad. Al oriente de la ciudad los pobladores viven con menos de 100 litros (algunos con menos de 20) al día, y deben hacer grandes sacrificios para abastecerse de su magro caudal.¹⁸ Al poniente de la ciudad, en cambio, los pobladores consumen en el orden de mil litros por persona al día. Aun sin estadísticas oficiales, una visión desde el aire de la ciudad lo confirma fácilmente; mientras que las lomas del poniente se ven verdes y frondosas en el tiempo de estiaje por los jardines bien regados, en el oriente de la ciudad no se ve una brizna de verde desde el aire. La poquísima agua que llega es preciosa, y se va toda al consumo humano.

Los técnicos y científicos que conocen la hidrología de la cuenca sabían que la ciudad, y el oriente en particular, podría enfrentar este drama, y muchos lo advirtieron con honestidad desde hace décadas. El problema de fondo

¹⁷ Nuria Merce Ortega Font, “El agua en números”, en *Casa del Tiempo*, núm. 41, 2011, pp. 39-40, disponible en https://www.uam.mx/difusion/casadeltiempo/41_iv_mar_2011/casa_del_tiempo_eIV_num41_39_40 (fecha de consulta: 15 de agosto de 2023).

¹⁸ Tanni Guerrero *et al.*, “El agua en la ciudad de México”, en *Ciencias*, núm. 94, UNAM, 2009, pp. 16-23.

es que los gobernantes no tienen una solución real para el abasto de agua a la Ciudad de México. Y el problema no es nuevo: ya en el siglo XVIII, la deforestación en las laderas de la Cuenca de México había alcanzado niveles tan altos y el nivel de escorrentía en tiempos de lluvia y de sequía en tiempos de estiaje eran tan severos, que —como mencionamos en el capítulo 2— Alejandro de Humboldt tomó alarmada nota del problema en el *Ensayo Político sobre el Reino de la Nueva España*: “[...] porque en todas partes tienen unas mismas consecuencias los descuajos y la destrucción de los bosques”.¹⁹ José Antonio Alzate, un pionero de las ciencias naturales en México, también alzó su voz para advertir de los riesgos del mal manejo del agua en la ciudad. A pesar de lo obvio del deterioro ambiental a los ojos de algunos investigadores, el fenómeno, en su profunda dimensión ambiental, no ha merecido la atención de los sucesivos gobernantes.

Las autoridades de la Ciudad de México siempre han optado por una alternativa tecnológica más que conservacionista. El exceso de agua que generaba la escorrentía incontrolada sobre las laderas deforestadas se eliminó a través de sistemas cada vez más caros y sofisticados de drenaje. Al eliminar el agua de lluvia hacia fuera de

¹⁹ Alejandro de Humboldt, *op. cit.*, p. 334.

la cuenca, los manantiales comenzaron a secarse y la ciudad comenzó a abastecerse de agua del subsuelo, acumulada durante cientos de miles de años bajo las arcillas lacustres. El bombeo comenzó a producir el hundimiento de la ciudad, lo cual a su vez incrementó el riesgo de inundaciones. Una vez caídas en la trampa de las soluciones tecnológicas, las autoridades de la Ciudad de México comenzaron una espiral de inversión y desarrollo descontrolados con el objeto de eliminar el agua de lluvia y al mismo tiempo proveer de agua a la ciudad: el crecimiento de la ciudad destruyó y desforestó las laderas de las montañas, y la falta de áreas verdes fue aumentando cada vez más la escorrentía y disminuyendo la recarga de los acuíferos. La falta de agua superficial y el creciente número de habitantes llevó a aumentar la extracción de agua del subsuelo. Más bombeo de pozos llevó a mayor hundimiento y mayor riesgo de inundación, lo cual llevó a su vez a aumentar el caudal del drenaje, con la construcción del sistema de drenaje profundo, y a traer agua desde las cuencas del Lerma y el Cutzamala, efectivamente transfiriendo la crisis del agua a lugares tan remotos como la cuenca del Balsas en Michoacán, o el Lago de Chapala.

Todo este sistema ha generado un caso de profunda inequidad ambiental. La Cuenca de México, como un gran

ecosistema, sobrevive en parte transvasando agua desde otros ecosistemas, en perjuicio de comunidades y campesinos que dependen críticamente de esa agua para su supervivencia. Dentro de la cuenca, a su vez, el agua se reparte inequitativamente según la capacidad económica de los diferentes grupos sociales. No es necesario imaginar una conspiración para explicar el estado actual: los sectores con más recursos han invertido más en sus colonias para asegurar el abasto de agua, pero las consecuencias sociales, en términos de justicia ambiental, están a la vista.

Desde la perspectiva del funcionamiento sustentable del ecosistema urbano, este patrón de uso del recurso carece absolutamente de sentido. La lluvia que llega a la Cuenca de México alcanza para abastecer a todos sus habitantes; pero la mayor parte de esas aguas se elimina por medio del drenaje, mezclándolas en el proceso con las aguas negras de la ciudad hasta hacerlas inutilizables. Todo indica que esta crisis de justicia ambiental deberá ser enfrentada con soluciones creativas e innovadoras. De no hacerlo, todo indica que los elementos de insustentabilidad hídrica del ecosistema urbano serán un elemento central de la crisis ambiental en el siglo XXI.

Aunque sumamente complejo, el problema no es imposible de resolver. Para cada uno de los problemas ecológicos de la ciudad existe una solución sustentable. Es posible, por lo menos en teoría, mejorar la superficie forestal y los espacios verdes, es posible capturar agua de lluvia y reinyectarla a los acuíferos, es también posible imaginar un sistema de transporte capaz de disminuir sensiblemente las emisiones a la atmósfera. Pero, aunque ha habido intentos en ese sentido, ninguna de las acciones de gobierno de los últimos 30 años se ha mantenido con determinación. Las soluciones —aunque posibles— deberían ser planeadas en un horizonte de varias décadas, y los gobiernos normalmente planifican en plazos mucho más cortos. La métrica de las decisiones es, a lo sumo, sexenal, y la restauración de los ecosistemas se mide en décadas. Los tiempos no se pueden sincronizar sin una decisión de largo plazo, y por eso la participación y el compromiso social son fundamentales en el contexto de la crisis ambiental actual.²⁰

Las reglas del funcionamiento de los ecosistemas nos dicen que ningún hábitat urbano puede funcionar en el largo plazo con niveles tan inequitativos e insustentables

²⁰ Exequiel Ezcurra, “Agua y justicia social”, en *El País*, 22 de marzo de 2017, disponible en http://internacional.elpais.com/internacional/2017/03/21/actualidad/1490132542_068477.html (fecha de consulta: 12 de julio de 2023).

de apropiación de recursos naturales. Como en otros momentos de la historia de México, es tiempo de repensar la ciudad bajo la perspectiva de un ambiente sano, y un acceso equitativo a las oportunidades sociales y a los recursos naturales. Necesitamos que el agua sea realmente para todos. En este caso, la resolución de la crisis ecológica exige lo mismo que demandamos en el ambiente social: justicia y equidad.

Gobernanza y justicia ambiental: el conflicto por la energía eólica en el istmo

La reducción de gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre involucra necesariamente la reducción en el consumo de combustibles fósiles: gas natural, petróleo y carbón de hulla. Lograr esta meta, sin embargo, implica una confrontación con grandes corporaciones que forman el núcleo de la industria energética global, incluyendo la gran industria petrolera. Este escollo fue particularmente visible durante la 28ª Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (COP28) que tuvo lugar en la ciudad de Dubái, Emiratos Árabes Unidos del 30 de noviembre al 12 de diciembre de 2023. El hecho de que la reunión fuera organizada en Dubái, una de las ciudades con mayor consumo per cápita de combustibles fósiles en el planeta, y que fuera presidida por el Sultán Al-Jaber, director ejecutivo (CEO) de la

Compañía Nacional Petrolera de Abu Dhabi, subraya de manera dramática la inmensa influencia que las grandes corporaciones energéticas internacionales tienen sobre las discusiones globales acerca del cambio climático que se dan en el seno de las Naciones Unidas. Con el paso del tiempo, y confrontadas con la innegable evidencia del cambio climático como resultado de las emisiones de gases de efecto invernadero, las grandes corporaciones petroleras han ido atemperando su posición. Mientras que en la década de los noventa la mayor parte de ellas argumentaba que no había evidencia científica sólida que demostrara la relación de causalidad entre el consumo de combustibles fósiles y el cambio climático, en la actualidad la mayor parte de las corporaciones petroleras acepta la existencia del problema, pero argumenta asimismo que no hay aún caminos alternativos. Algunas compañías, como Exxon o Mobil, están apoyando sus propias investigaciones para convertirse ellas mismas en proveedoras de energías renovables en un futuro posible.

Como parte de los compromisos adquiridos en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, durante los últimos 15 años se han emprendido en México acciones para generar energía eléctrica renovable por medio de grandes turbinas eólicas. El proyecto más importante se desarrolló en las planicies de la

vertiente del Pacífico del Istmo de Tehuantepec, en una región conocida como La Ventosa, al norte de Juchitán de Zaragoza, Oaxaca, donde los vientos alisios que atraviesan el istmo se encajonan y descienden con fuerza hacia la costa del Pacífico. Las turbinas fueron instaladas y son operadas por la empresa española Iberdrola. El proyecto de La Ventosa es un excelente ejemplo de las interrogantes que generan las acciones para mitigar el cambio climático y del rol que juegan las grandes corporaciones de generación de energía.

Los compromisos adquiridos por México en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático para reducir emisiones de gases de efecto invernadero y fomentar las energías renovables generaron un agudo interés por este tipo de energías, incluyendo la generación eólica en el Istmo de Tehuantepec. Pero el enfoque del Gobierno federal a mediados de la primera década del siglo XXI fue realizar proyectos a gran escala liderados por grandes empresas de energía; y este enfoque produjo agudas divisiones en las comunidades indígenas y campesinas del istmo. Los campesinos dueños de parcelas relativamente grandes, de 20 a 40 hectáreas, recibieron buenos ingresos rentando sus tierras para la instalación de turbinas aerogeneradoras, ingresos que muchas veces son el doble o incluso cuatro veces más de lo que

ganaban con sus cultivos. Iberdrola pavimentó carreteras y construyó alcantarillado como parte de su compromiso social con las comunidades del istmo. Varias empresas de construcción surgieron en Juchitán para construir la infraestructura de los parques eólicos como subcontratistas de Iberdrola.

Pero no todos prosperaron. Quienes no eran dueños de sus campos no tenían acceso a las rentas que generan las turbinas. Los parques eólicos detonaron empleos durante su construcción, pero después, una vez empezada la operación de las turbinas, la demanda por esos mismos empleos se colapsó. El impacto de los parques eólicos del istmo no se redujo sólo a la pérdida de tierras agrícolas, sino que, en una región de pobreza en México, el proyecto profundizó la desigualdad y las diferencias sociales dentro de la comunidad.

Las contradicciones dentro de la comunidad llevaron eventualmente al rechazo de los proyectos eólicos. Más de mil residentes de Juchitán de Zaragoza, mayormente zapotecas, se opusieron a los planes para construir un nuevo parque eólico de 400 megavatios. A través de un largo proceso judicial lograron una orden para detener a Energía Eólica del Sur, el consorcio financiero a cargo del proyecto. La demanda argumentaba que el Gobierno no consultó de

manera adecuada al pueblo indígena de Juchitán acerca del proyecto eólico, lo cual es una obligación bajo la ley de hidrocarburos de 2014. El Gobierno no cumplió con esa regla al dar permisos a Eólica del Sur durante la consulta, aseveró la orden del juez.²¹

El conflicto de La Ventosa es un caso consumado que muestra cómo acciones ambientales aparentemente correctas pueden fallar gravemente en detrimento de los grupos sociales más desfavorecidos: un ejemplo extraordinario de cómo algunos esfuerzos por cuidar el ambiente global pueden impactar desfavorablemente a comunidades indígenas locales. Por un lado, los residentes de Juchitán argumentaron frente al juez no haber sido consultados adecuadamente como demanda la ley. Por otro lado, el proyecto en su totalidad muestra una perspectiva ideológica que favorece a las grandes corporaciones en detrimento de las comunidades locales. Las grandes empresas de energía obedecen a sus accionistas y su objetivo es maximizar sus ganancias a través de proyectos a gran

²¹ Tatiana A. Alfonso S. y Jorge Peláez Padilla, "Caso Eólicas del Sur en Juchitán: la errónea lectura de la Suprema Corte del derecho a la consulta previa", en *Nexos*, 31 de octubre de 2018, disponible en <https://eljuegodelacorte.nexos.com.mx/caso-eolicas-del-sur-en-juchitan-la-erronea-lectura-de-la-suprema-corte-del-derecho-a-la-consulta-previa/> (fecha de consulta: 15 de diciembre de 2023).

escala. Los intereses de las comunidades locales y la justicia ambiental no figuran entre sus prioridades corporativas. En el contexto de estos megaproyectos ambientales, el velar por la transparencia, la participación informada de las comunidades y, sobre todo, la justicia ambiental, debería ser una responsabilidad fundamental del Estado; cuando se estableció el proyecto de La Ventosa, sin embargo, la ideología dominante era que la generación de energías renovables debía hacerse con grandes corporaciones, capaces de generar energía eólica a gran escala, y que las comunidades locales no tenían la capacidad de hacerlo. La disonancia entre los objetivos e intereses de las comunidades locales y los de las grandes corporaciones globales, la falta de participación informada por parte de las primeras y la ausencia de consideraciones sobre la justicia distributiva del proyecto llevaron al conflicto del parque eólico de Juchitán, mostrando la importancia de estas consideraciones sociales en la gobernanza ambiental.

Gobernanza ambiental y democracia

Como hemos visto en los capítulos anteriores, los estudios científicos demuestran que la crisis ambiental que estamos viviendo a nivel global es extremadamente grave y tiene repercusiones serias sobre los sectores más desprotegidos, exacerbando la desigual distribución de recursos entre las sociedades humanas. Las investigaciones demuestran, asimismo, que nuestras actividades son la causa principal del exacerbamiento de fenómenos climáticos extremos, de la pérdida de servicios ecosistémicos y de la extinción de especies silvestres. Es urgente desarrollar políticas y acuerdos globales para: a) reducir —e idealmente detener— las emisiones de gases de efecto invernadero reemplazando el consumo de combustibles fósiles por la generación de energías renovables; b) incrementar la eficiencia energética de nuestras actividades para reducir el consumo global de energía; c) proteger los servicios de los ecosistemas para asegurarnos abasto seguro de agua, pesquerías

y aire limpio; d) detener la fragmentación de los ecosistemas naturales que aún tenemos y asegurar su funcionamiento integral; y e) proteger la biodiversidad de nuestros ecosistemas y los servicios que nos provee.

Aunque estos objetivos parezcan breves y sencillos, ponerlos en práctica es extremadamente complejo. Las organizaciones ambientales de las Naciones Unidas llevan más de tres décadas trabajando para generar acuerdos internacionales que permitan regular la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera global. El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) fue creado en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente —dos organismos de las Naciones Unidas— para proporcionar a los gobiernos de las naciones información objetiva y actualizada sobre lo que los científicos ya habían comenzado a vaticinar sería la crisis ambiental del siglo XXI. Tres años después, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático fue adoptada en la histórica Cumbre de la Tierra de 1992, también conocida como la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, que tuvo lugar en Río de Janeiro.

Desde su creación en 1992, los países participantes en el convenio han realizado reuniones periódicas para formalizar sus compromisos y avanzar en acciones de mitigación. El Protocolo de Kioto, adoptado en 1997 por 192 naciones, comprometió a los países industrializados a limitar y reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero según metas voluntarias acordadas para cada país. Casi dos décadas después, en diciembre de 2015, los mismos países participantes adoptaron el Acuerdo de París, un tratado legalmente vinculante con el objetivo de asegurar que el incremento global de la temperatura del planeta no sobrepase los 2 °C sobre los niveles preindustriales. La puesta en práctica del Acuerdo de París requiere que cada país realice cambios en sus procesos económicos y sociales para reducir sus emisiones de acuerdo con la mejor ciencia disponible y que reporte sus avances a la Convención Marco —las Contribuciones Nacionales Determinadas— cada cinco años.

Sin embargo, a pesar de los avances aparentes logrados en estas reuniones internacionales, el progreso real ha sido extremadamente lento. Violando una acción básica de justicia ambiental, los países industrializados no han cumplido sus promesas de transferir recursos financieros a los países más pobres para ayudarlos a cumplir con las

metas expresadas en sus contribuciones nacionales.¹ Muchos países, de diferentes niveles de desarrollo, han expresado metas ambiciosas en sus contribuciones nacionales, pero no parecen estar avanzando seriamente en el cumplimiento de éstas. Así, mientras las evidencias de los efectos destructivos del cambio climático empiezan a manifestarse trágicamente en muchas partes del planeta, las naciones participantes en la Convención Marco parecen estar estancadas en defender su derecho a mantener el *statu quo* a expensas de las necesidades globales del planeta.

Decepcionado por las empantanadas negociaciones internacionales, Bjørn Lomborg, académico y escritor danés, ha sido muy crítico con respecto a las ideas sobre mitigación del cambio climático, argumentando que es más realista y efectivo centrarse en la adaptación a los efectos del cambio climático en lugar de intentar reducir drásticamente las emisiones.² A diferencia de los negacionistas de la existencia del cambio climático, Lomborg reconoce que el problema es importante, pero argumenta que hay otros desafíos globales, como la pobreza, las enfermedades y la

¹ Jocelyn Timperley, "How to fix the broken promises of climate finance", en *Nature*, vol. 598, 2021, pp. 400-402.

² Bjørn Lomborg, *The Skeptical Environmentalist: Measuring the Real State of the World*, Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press, 2001.

educación que también merecen atención y recursos de manera urgente. Sugiere que la retórica alarmista de los estudiosos del cambio climático puede llevar a respuestas desproporcionadas y a la pérdida de recursos que podrían usarse de manera más efectiva en la resolución de otros problemas globales. Otros intelectuales han expresado preocupaciones similares. El escritor y periodista Martín Caparrós, por ejemplo, argumentó en 2010 que la amenaza del cambio climático no tenía mayor importancia cuando se comparaba con la pobreza y el hambre en los países no industrializados.³

La gran primatóloga, etóloga y conservacionista británica Jane Goodall también es crítica de la manera en que los científicos han manejado el tema del cambio climático. Aunque cree que la pérdida de biodiversidad, la extinción biológica y el cambio climático son los grandes desafíos de nuestra época, la retórica alarmista y la perspectiva catastrofista de la ciencia del cambio climático, en su opinión, desmotiva a las personas para actuar al respecto. Goodall cree que es éticamente imperativo generar una visión esperanzadora de la actual crisis ambiental para convencer a nuestras sociedades de que sí es posible imaginar soluciones viables al problema y actuar decididamente

³ Martín Caparrós, *Contra el cambio*, Barcelona, Editorial Anagrama, 2010.

en consecuencia. En su *Libro de la Esperanza*,⁴ se pregunta: ¿cómo cultivar una esperanza cuando el mundo a nuestro alrededor parece desesperanzador?, y señala cuatro razones fundamentales por las cuales cree que la humanidad puede superar la crisis ambiental global: a) la extraordinaria creatividad del intelecto humano; b) la resiliencia de la naturaleza; c) el poder y el compromiso de las jóvenes generaciones; y d) el indomable espíritu humano. En muchos otros de sus análisis, Goodall basa su posición intelectual en historias de éxito pasadas, en el rescate de plantas y animales en vías de extinción y en la solución exitosa de grandes problemas ambientales. Su perspectiva se basa en que si pudimos entender bien aquellos grandes problemas que fueron resueltos exitosamente, quizás podamos desarrollar nuevos elementos para resolver los actuales. Tomando inspiración de las estimulantes ideas de Jane Goodall, compartiremos algunas historias que han podido revertir el deterioro de la biosfera a escala global. Estas historias resaltan lo que es posible lograr, y dan esperanza para un futuro ambientalmente viable del planeta.

⁴ Jane Goodall et al., *The Book of Hope: A Survival Guide for Trying Times*, Nueva York, Celadon Books, 2021.

Historias de éxito en la protección del ambiente global

La crisis de la lluvia ácida. A finales de la década de los sesenta, muchos investigadores comenzaron a notar en Europa que las precipitaciones habían cambiado su pH (una medida de acidez o alcalinidad) y que las precipitaciones que caían sobre la mayor parte del continente se habían vuelto ácidas. El problema era importante, la acidez de las lluvias lixiviaba nutrientes esenciales de los suelos, sobre todo en los bosques, causando daños serios a la vegetación, pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos, y debilitamiento de los árboles haciéndolos vulnerables a plagas y epidemias. En las ciudades, la lluvia ácida comenzó a ser evidente en los daños a edificios y estructuras hechas de materiales como mármol, travertino, piedra caliza, cobre y bronce, todas susceptibles a corrosión en un medio ácido. La investigación científica rápidamente detectó la causa. El carbón mineral o hulla, usado ampliamente en Europa en ese tiempo como fuente fundamental de energía para los procesos industriales, emite óxidos de azufre durante su combustión. Estos óxidos se disuelven en el agua atmosférica y se transforman en ácido sulfúrico que cae al suelo en forma de lluvia ácida. Una vez diagnosticado el problema, comenzaron una serie de negociaciones entre los países de Europa para remediarlo. La decisión no era fácil porque buena

parte de la energía consumida por las industrias, sobre todo la acerera, eléctrica y ferrocarrilera, provenían del carbón, y cambiar a otras fuentes energéticas representaba una transformación económica inimaginable hasta ese momento.

Finalmente, en 1979 los países de la Comunidad Económica Europea firmaron el Convenio de Ginebra sobre Contaminación Transfronteriza a Gran Distancia, que entró en vigor en 1983.⁵ El convenio estableció un marco de cooperación intergubernamental para proteger la salud y el medio ambiente contra la contaminación atmosférica, incluyendo los precursores de la lluvia ácida, que pueden viajar en el aire de un país a otros. Las partes firmantes se comprometían a limitar, prevenir y reducir paulatinamente las emisiones de contaminantes atmosféricos en todo el continente europeo. Sobre la base de los compromisos del Convenio de Ginebra, los países de Europa han firmado ocho protocolos específicos relacionados con distintos aspectos de la calidad del aire, incluyendo un protocolo de reducción de las emisiones de azufre firmado en 1985. Gracias a estas iniciativas, la Unión Europea pudo reorganizar

⁵ Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, "Air", United Nations Economic Commission for Europe, Environmental Policy Report, 2023, disponible en <https://unece.org/environmental-policy-1/air> (fecha de consulta: 8 de agosto de 2023).

sus procesos industriales para reducir las emisiones de carbón y promover el uso de energías menos contaminantes. Los resultados empezaron a notarse rápidamente en una extraordinaria reducción de las emisiones de los precursores de la lluvia ácida. Cuatro décadas más tarde, la crisis de la lluvia ácida es un problema del cual muy pocos se acuerdan. La lucha contra la lluvia ácida, sin embargo, dejó dos valiosas experiencias: por un lado, demostró que la capacidad de la tierra para absorber impactos sobre el ambiente no es infinita y que la actividad industrial de los humanos puede tener efectos acumulativos en la atmósfera a escala internacional. Por el otro, demostró que es posible lograr el acuerdo de muchas naciones para hacer frente a problemas ambientales globales, compartidos por todos.

La capa de ozono: crisis y recuperación. En 1974, Mario Molina, un investigador mexicano, en colaboración con Sherwood Rowland, de los Estados Unidos, publicaron uno de los estudios más influyentes en la historia de la ciencia.⁶ En su artículo, argumentaban que los clorofluorocarburos (CFC) —un grupo de hidrocarburos clorados usados en la industria como refrigerantes y propelentes— se estaban

⁶ Mario J. Molina y F. Sherwood Rowland, "Stratospheric Sink for Chlorofluoromethanes: Chlorine Atom-Catalyzed Destruction of Ozone", en *Nature*, vol. 249, 1974, pp. 810-812.

acumulando en la estratósfera como resultado de las emisiones industriales. Su disociación por acción de la luz ultravioleta generaba átomos de cloro reactivo que eran capaces de destruir la capa de ozono que rodea al planeta, que nos protege de la radiación ultravioleta. La hipótesis de Molina y Rowland fue al principio ignorada por los funcionarios y gobiernos, posiblemente bajo la creencia de que la crisis que predecían los investigadores, si efectivamente ocurría, tardaría muchas décadas en manifestarse. Pero 11 años más tarde, un grupo de investigadores británicos anunció que se había detectado una inmensa región sobre la Antártida en la que la capa de ozono en la estratósfera se había adelgazado hasta casi desaparecer.⁷ La mayor parte de los países se dieron cuenta de que si el agotamiento de la capa de ozono continuaba, la vida emergida —fuera del mar— sobre el planeta, incluyendo los propios humanos, corría grave riesgo por el efecto ionizante de la radiación ultravioleta.

Bajo la convocatoria y auspicio del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, en 1987 se firmó el Protocolo de Montreal, un acuerdo ambiental internacional diseñado para abordar el agotamiento de la capa de

⁷ Joseph C. Farman *et al.*, “Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction”, en *Nature*, vol. 315, 1985, pp. 207-210.

ozono mediante la eliminación gradual de la producción y el consumo de sustancias químicas industriales que dañan la capa de ozono, incluyendo principalmente los CFC. El protocolo llevó, efectivamente, a una reducción significativa en las emisiones de sustancias agotadoras de la capa de ozono. En la actualidad, la producción y el consumo de CFC se han eliminado casi por completo y, como resultado, la capa de ozono ha comenzado su recuperación. Diez años después de la firma del protocolo, en diciembre de 1995, Mario Molina y Sherwood Rowland recibieron el Premio Nobel de Química “por su trabajo en química atmosférica, particularmente en lo que concierne a la formación y descomposición del ozono”.⁸

Al igual que el Acuerdo de Ginebra para el caso de la lluvia ácida, la firma exitosa del Protocolo de Montreal volvió a demostrar, ahora a nivel planetario, que la capacidad de la Tierra para absorber impactos sobre el ambiente es limitada y que la actividad industrial de los humanos puede tener efectos acumulativos en la atmósfera, a escala global. Como nota de optimismo y esperanza, asimismo, ambos acuerdos subrayaron que es posible lograr el consenso de

⁸ Real Academia Sueca de Ciencias, “The ozone layer – The Achilles heel of the biosphere”, en The Nobel Prize in Chemistry 1995, disponible en <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1995/press-release/> (fecha de consulta: 8 de agosto de 2023)

las naciones del planeta para hacer frente a problemas ambientales compartidos por todos los humanos, cuya escala y dimensión parecen infranqueables.

Estas historias de éxito también demuestran que las acciones impulsadas por un grupo no están limitadas geográficamente y pueden impactar positivamente en todo el planeta. La atmósfera y las corrientes oceánicas nos conectan a todos de maneras profundas, y muchas acciones locales pueden tener impactos positivos regionales y globales.

Ciudades sustentables. A medida que los efectos del cambio climático se han ido haciendo más evidentes, muchas ciudades alrededor del mundo han realizado esfuerzos por mejorar sus niveles de sustentabilidad ambiental a través de la planificación del desarrollo urbano con criterios ambientales; la disminución de emisiones mejorando la eficiencia energética de industrias, viviendas y transporte, el impulso de transporte colectivo de calidad; el desarrollo de áreas verdes dentro y alrededor de la ciudad, y la conservación del medio ambiente en general. Son bien conocidos los casos de algunas ciudades europeas, como Copenhague, Estocolmo, Reikiavik, Viena y Liubliana, entre otras, por sus esfuerzos a favor de las fuentes de energía renovable, el transporte público eficiente, la

infraestructura para bicicletas y peatones, la reducción de residuos, la generación de áreas verdes y la protección de la biodiversidad circundante.

En el continente americano, tanto en el Norte como en Sudamérica, se han hecho también esfuerzos notables en muchas ciudades, incluyendo la propia Ciudad de México. Quizás los casos más destacados son los de Curitiba, en Brasil, reconocida mundialmente por su sistema de transporte público eficiente y su enfoque en la planificación urbana sostenible, y Medellín, en Colombia, que es un modelo internacional de innovación en el transporte público y justicia ambiental con el diseño de teleféricos y escaleras eléctricas que integraron los barrios periféricos de las laderas montañosas con los servicios educativos y empleos en el centro de la ciudad. En los Estados Unidos, las ciudades de Portland y Seattle han adoptado políticas estrictas de desarrollo urbano, invirtiendo en infraestructuras verdes, transporte público y espacios públicos accesibles. Ambas ciudades promueven la cultura del ciclismo y han implementado exitosas medidas para reducir las emisiones de carbono. Todas estas ciudades tienen muchos factores en común que vale la pena analizar. Por un lado, las grandes decisiones de reducción de emisiones y conservación ambiental se basan en el convencimiento colectivo de que las acciones necesarias para mitigar el

cambio climático a nivel global pueden también contribuir a la calidad de vida urbana, a un nivel mucho más local.

Por ejemplo, en Seattle, organizaciones de la sociedad civil lograron convencer a la comunidad urbana, en la década de los setenta, de que era necesario luchar por aire y agua más limpios y por la protección de las extraordinarias áreas naturales que rodean la ciudad. Las preocupaciones de la población por el deterioro de su calidad de vida por la contaminación, la deforestación y la expansión urbana desempeñaron un papel central en la consolidación de la conciencia ambiental. Dos décadas más tarde, cuando la crisis del cambio climático global irrumpió en la opinión pública, los líderes ambientales, como el Equipo de Acción Climática de King County (*King County Climate Action Team*)⁹ y los funcionarios públicos comprometidos, tomaron conciencia de que cumplir con compromisos ambientales globales no implicaba una contradicción con las políticas locales que ya habían comenzado a poner en práctica. Más bien, implicaba profundizar en las políticas ambientales que estaban haciendo famosa a la ciudad por su calidad de vida. Uno de los lemas del Plan Estratégico

⁹ King County Climate Action Team (eds.), *King County 2020 Strategic Climate Action Plan*, Seattle, King County Climate Action Team, 2020.

de Acción Climática de Seattle es “no puede haber justicia climática sin justicia social”.

Casi todas las experiencias de ciudades sustentables implican una serie de elementos que han llevado a éxitos en la gestión ambiental: a) transparencia informativa; b) participación activa de la sociedad civil; c) concientización y educación ambiental; d) liderazgo y sensibilidad en funcionarios públicos abiertos a la participación social; y e) innovación en diseño y tecnologías capaces de imaginar nuevas formas de energía, transporte y conservación. Éstos son sólo algunos ejemplos de ciudades que están trabajando en la dirección de la sustentabilidad; cada una de ellas aborda diferentes aspectos de la sostenibilidad urbana, pero todas comparten el objetivo de crear entornos urbanos más saludables, eficientes y amigables con el medio ambiente. La enseñanza más importante de todas las experiencias de ciudades sustentables es que las acciones para mitigar el cambio climático, disminuir las emisiones a la atmósfera, cuidar áreas verdes y bosques, y proteger las fuentes de agua no son contradictorias con la calidad de vida a nivel local. Por el contrario, pueden contribuir significativamente a la creación de comunidades más saludables y más justas.

La transición demográfica y el futuro ambiental del planeta

El análisis de las ciudades sustentables, junto con la posición de pensadores como Jane Goodall respecto de la crisis ambiental global, son un llamado a la acción y el compromiso ambientales, y un exhorto a cultivar una perspectiva esperanzadora sobre la situación ambiental del planeta. Sin embargo, no todos los sectores y grupos sociales coinciden. Muchos pensadores del activismo ambiental creen que mientras el capitalismo y el poder de los mercados sigan marcando el paso del desarrollo, la economía global y las grandes corporaciones de energía seguirán ejerciendo su influencia en las más importantes decisiones energéticas y de desarrollo, obstruyendo cualquier posibilidad de realizar acciones comprensivas para reducir emisiones y mitigar el cambio climático global.¹⁰ Otras organizaciones científicas, como la Unión Internacional de Científicos con Compromiso Social (*Union of Concerned Scientists* [UCS]), opinan que: “Afortunadamente, el cambio climático se puede resolver. Tenemos las tecnologías. Tenemos la ciencia. Necesitamos liderazgo,

¹⁰ Larry Elliott, “Can the world economy survive without fossil fuels?”, *The Guardian*, 8 de abril de 2015, disponible en <https://www.theguardian.com/news/2015/apr/08/can-world-economy-survive-without-fossil-fuels#comments> (fecha de consulta: 2 de agosto de 2023).

y el valor para cambiar el curso del planeta”¹¹ De manera similar, el Panel Internacional de Cambio Climático, en su sexto reporte de evaluación de 2023,¹² opina que los riesgos del cambio ambiental acelerado pueden aún ser mitigados con la condición de que medidas firmes y en aumento para la reducción de emisiones se pongan en marcha durante la década de 2020.

Aunque ni el informe del IPCC ni el de la UCS tocan en detalle el tema de la demografía global, el proceso de la transición demográfica que está ocurriendo a nivel global agrega un elemento esperanzador a los desafíos de la crisis climática. La transición demográfica es un proceso gradual de cambios en las tasas de natalidad y mortalidad que está actualmente experimentando buena parte de los países del mundo. Hace un siglo, o menos, los patrones demográficos de México estaban caracterizados por una alta mortalidad y una alta natalidad. La expectativa media de vida era mucho menor que ahora, pero era también muy común ver parejas con un gran número de hijos. Por ejemplo, la expectativa de vida en México en 1920 era de

¹¹ UCS, *Climate Solutions*, Cambridge, Mass, Union of Concerned Scientists, disponible en <https://www.ucsusa.org/climate/solutions> (fecha de consulta: 2 de agosto de 2023).

¹² IPCC, *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*, Génova, IPCC, 2023.

29 años, comparada con 75 años en la actualidad.¹³ De manera similar, la tasa anual de nacimiento en 1920 era de 4.5 niños por cada 100 habitantes, en la actualidad es de 1.8 y continúa descendiendo rápidamente.¹⁴ El acceso libre a medicinas para controlar la natalidad, la transición de sociedades rurales a urbanas, el mayor empoderamiento de las mujeres a través de la educación, entre varios otros factores, han producido el fenómeno. Una de las consecuencias demográficas más dramáticas del fenómeno es que la pirámide poblacional del país se está enangostando en su base. Hay menos niños de 1 a 5 años ahora de los que había hace una década, y el descenso en el número de niños continuará, según proyectan los modelos. Esto quiere decir que, en unas dos o tres décadas, cuando estos niños lleguen a edad reproductiva, habrá menos adultos reproductivos y, si la tendencia continúa, cada mujer tendrá menos hijos que los que tuvieron sus madres. La población de México dejará gradualmente de

¹³ Statista, *Life expectancy (from birth) in Mexico, from 1890 to 2020*, Nueva York, Statista Inc., disponible en <https://www.statista.com/statistics/1041144/life-expectancy-mexico-all-time/> (fecha de consulta: 4 de agosto de 2023).

¹⁴ Statista, *Crude birth rate in Mexico from 1900 to 2020*, Nueva York, Statista Inc., disponible en <https://www.statista.com/statistics/1037615/crude-birth-rate-mexico-all-time/> (fecha de consulta: 4 de agosto de 2023).

crecer y posiblemente comience a decrecer, alrededor del año 2045.¹⁵

Con distinta intensidad, este fenómeno está ocurriendo en muchos países del mundo. Globalmente, hay menos niños ahora en el planeta de los que había en el año 2000. Con excepción del África subsahariana, donde la mayor parte de los países todavía mantienen un patrón demográfico de alto crecimiento, alta natalidad y baja expectativa de vida, la mayor parte del planeta está cambiando aceleradamente su demografía. Este fenómeno es particularmente visible en algunos países europeos y asiáticos, como Italia, Grecia, China, Corea del Sur, Japón y Taiwán. Japón, por ejemplo, alcanzó su máxima población en el año 2008, con 128 millones de habitantes, y siguió descendiendo rápidamente para alcanzar 123 millones en el año 2023. De manera similar, China alcanzó su tope poblacional en 2021, con 1,426 millones, y su población ha comenzado ya a descender.

Este cambio dramático en los patrones reproductivos del mundo representa que antes de mediados del siglo

¹⁵ PopulationPyramid, "Mexico" en *Population Pyramids of the World from 1950 to 2100*, disponible en <https://www.populationpyramid.net/mexico/2023/> (fecha de consulta: 10 de julio de 2023).

XXI grandes regiones del planeta dejarán de crecer en su población,¹⁶ y la demanda de tierras, la expansión de la frontera agrícola y las emisiones de gases de efecto invernadero también dejarán de crecer o, en algunos casos, comenzarán a disminuir. La transición demográfica obligará a los países a repensar sus economías. En Japón, por ejemplo, ya la mitad de la población tiene más de 50 años y muchos pueblos están comenzando a deshabitarse rápidamente. Las consecuencias económicas de todo el proceso son inmensas y complejas, pero en términos del medio ambiente, un planeta en decrecimiento demográfico abre opciones novedosas para imaginar alternativas sustentables basadas en menos consumo de recursos, menos emisiones a la atmósfera y una agricultura más sustentable y a escala más local.

Gobernanza ambiental y justicia social

Aunque el cambio climático es un fenómeno ambiental, sus impactos y la forma en que se aborda están estrechamente vinculados con los sistemas políticos y la gobernanza de los países. Con base en las historias de acciones exitosas descritas anteriormente, es posible empezar a elaborar

¹⁶ CIA, "Population Pyramids by Region", en *The World Factbook*, Washington, Central Intelligence Agency, disponible en <https://www.cia.gov/the-world-factbook/references/population-pyramids-by-region/> (fecha de consulta: 15 de agosto de 2023).

una lista de elementos que han contribuido a los éxitos más notables en la gestión ambiental, tanto a nivel internacional como dentro de cada país:

Participación ciudadana. La solución a grandes crisis ambientales, como el adelgazamiento de la capa de ozono y la lluvia ácida, o las iniciativas exitosas de ciudades sustentables, siempre han tenido una amplia participación ciudadana a través de cabildeos, movilizaciones, campañas de sensibilización y activismo desde organizaciones de la sociedad civil. Sin un compromiso ciudadano y un análisis detallado de la importancia colectiva de las decisiones ambientales, es difícil avanzar en la toma de decisiones que pueden representar un costo individual para los miembros de la comunidad. Las decisiones más exitosas sobre políticas climáticas a menudo se toman a través de procesos de deliberación donde la ciudadanía tiene la oportunidad de expresar sus opiniones y participar en la creación de políticas públicas.

Transparencia y acceso abierto a la información ambiental. La transparencia informativa y el acceso abierto a la información sobre los grandes problemas que enfrenta el mundo, o una región, son de la mayor importancia para alimentar y nutrir la participación ciudadana. El extraordinario éxito del Protocolo de Montreal al detener el

agotamiento de la capa de ozono, por ejemplo, se debió al trabajo coordinado de la comunidad científica junto con grandes divulgadores de la ciencia y periodistas que pusieron a disposición del público internacional la totalidad de los datos sobre la amenaza que representaban los CFC para la capa de ozono como protectora global contra la radiación ionizante, y supieron defender la fortaleza e importancia de los datos frente a los esfuerzos de algunas industrias por minimizar el problema.

Justicia ambiental. La crisis ambiental y el cambio climático afectan de manera desproporcionada a las comunidades más vulnerables, como las comunidades indígenas y campesinas, los sectores urbanos más pobres y las poblaciones costeras. Un acuerdo internacional, para ser exitoso, debe tomar en cuenta la perspectiva de los más desprotegidos para asegurar que cualquier proyecto ambiental a gran escala no los deje fuera de sus potenciales beneficios. Como se lee en el Plan Estratégico de Acción Climática de la ciudad de Seattle: “No puede haber justicia climática sin justicia social”.¹⁷

Estos elementos —participación ciudadana, transparencia y acceso abierto a la información, y justicia ambiental— son

¹⁷ King County Climate Action Team, *op. cit.*

los tres pilares en los que descansa la gobernanza ambiental exitosa. En las grandes tragedias ambientales de los últimos 50 años, como el accidente nuclear de Chernóbil¹⁸ o el desastre del desecamiento del Mar de Aral,¹⁹ ambos en la antigua Unión Soviética, resulta claro que estos tres elementos faltaron completamente. Aunque de escala algo menor, el derrame de jales de cobre en el Río Bacanuchi, Sonora, en agosto de 2014,²⁰ que dejó a miles de campesinos y rancheros con sus aguas y suelos severamente contaminados y sin recibir compensación adecuada,²¹ es también un caso paradigmático de fallas severas en estos tres elementos de gobernanza ambiental.

El Acuerdo de Escazú

Varios grupos de pensamiento han impulsado, en años recientes, los tres puntos de la gobernanza ambiental mencionados anteriormente. Por iniciativa de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), una

¹⁸ Jim T. Smith y Nicholas A. Beresford, *Chernobyl - Catastrophe and Consequences*, Berlín, Springer-Verlag, 2005.

¹⁹ Philip Micklin, "The Aral Sea Disaster", en *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, vol. 35, 2007, pp. 47-72.

²⁰ Alejandra Toscana Aparicio y Pedro de Jesús Hernández Canales, "Gestión de riesgos y desastres socioambientales. El caso de la mina Buenavista del cobre de Cananea", en *Investigaciones Geográficas*, vol. 93, 2017, pp. 1-13.

²¹ Rolando Díaz-Caravantes *et al.*, "Las plantas potabilizadoras en el río Sonora: una revisión de la recuperación del desastre", en *Región y Sociedad*, vol. 33, 2021, p. e1416.

agencia de la Organización de las Naciones Unidas, el 4 de marzo de 2018 se adoptó en Escazú, Costa Rica, un acuerdo regional para promover el libre acceso a la información ambiental, la participación pública y el acceso a la justicia ambiental, los mismos tres puntos del inciso anterior, titulado Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe²² y conocido en muchas partes sencillamente como el Acuerdo de Escazú. México firmó el acuerdo el 27 de septiembre de 2018, en el marco de la reunión anual de la Asamblea General de las Naciones Unidas, y el Senado de la República lo ratificó el 5 de noviembre de 2020. El acuerdo entró en vigor para todos los países miembros el 22 de abril de 2021, Día Internacional de la Tierra.

El objetivo central del acuerdo internacional, abierto a los 33 países de la región, de acuerdo con su artículo 1 es:

Garantizar la implementación plena y efectiva en América Latina y el Caribe de los derechos de acceso a la información ambiental, participación pública en los procesos

²² CEPAL, Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Publicación de Naciones Unidas LC/PUB.2018/8/Rev.1, 2022.

de toma de decisiones ambientales y acceso a la justicia en asuntos ambientales, así como la creación y el fortalecimiento de las capacidades y la cooperación, contribuyendo a la protección del derecho de cada persona, de las generaciones presentes y futuras, a vivir en un medio ambiente sano y al desarrollo sostenible.

En los artículos posteriores, el acuerdo trata en detalle el compromiso de los Estados miembros para garantizar: a) acceso libre y transparente a la información ambiental (art. 5); b) la generación y divulgación abiertas de información ambiental (art. 6); c) la participación pública en los procesos de toma de decisiones ambientales (art. 7); y d) el acceso a la justicia en asuntos ambientales (art. 8).

En resumen, con la firma y la ratificación del Acuerdo de Escazú, México se ha comprometido en la comunidad de naciones, y especialmente con los países hermanos de América Latina y el Caribe, a garantizar dentro del país los tres pilares de la gobernanza ambiental: transparencia y acceso abierto a la información ambiental, participación ciudadana y justicia ambiental. Sin embargo, como veremos en la siguiente sección, estos compromisos aún no han sido plasmados en la legislación y la gestión ambiental. Tenemos todavía un largo camino por recorrer.

Participación, gobernanza y justicia en la legislación ambiental mexicana

La incorporación de los conceptos centrales definidos en el Acuerdo de Escazú es sólo parcial en la legislación mexicana. Es importante subrayar que la legislación ambiental mexicana contempla la consulta a la sociedad para las grandes decisiones ambientales, tanto en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) como en dos de sus reglamentos: el de Impacto y Riesgo Ambiental, y el del Ordenamiento Ecológico del Territorio. También está claramente normado en la ley la obligatoriedad de las autoridades de poner de forma transparente a disposición del público la información ambiental relacionada con grandes proyectos que puedan impactar la calidad del ambiente. Por ejemplo, en su artículo 34, sección V, relativo a la evaluación del impacto ambiental, la LGEEPA establece que: “Una vez que la Secretaría reciba una manifestación de impacto ambiental [...], pondrá ésta a disposición del público, con el fin de que pueda ser consultada por cualquier persona. [...] La Secretaría, a solicitud de cualquier persona de la comunidad de que se trate, podrá llevar a cabo una consulta pública”. Similares disposiciones relativas al acceso abierto a la información y la consulta pública aparecen asimismo en la sección II de la ley, relativa al ordenamiento ecológico.

El tercer pilar de la gobernanza del ambiente, la justicia ambiental, no aparece tan claramente dibujado en la LGEEPA, posiblemente porque cuando esta ley fue redactada la comunidad científica sabía mucho menos de lo que sabemos ahora sobre los mecanismos por los que algunos sectores de la sociedad pueden trasladar a otros el costo del deterioro ambiental. Sin embargo, una preocupación en ese sentido ha ido creciendo en nuestras autoridades legislativas. En el artículo 20 BIS 8, añadido a la LGEEPA el 11 de abril de 2022, se establece que

La Secretaría promoverá el proceso de consulta previa, libre e informada y la participación de las comunidades indígenas y afromexicanas, las comunidades equiparables y de los propietarios y poseedores de la tierra en los procesos de elaboración, observancia, revisión y modificación de los Ordenamientos Ecológicos Territoriales, Ordenamientos Ecológicos Regionales y Ordenamientos Ecológicos Locales.

Aunque la frase *justicia ambiental* no aparece todavía en nuestra legislación, el concepto empieza a asomar tímidamente en la misma.

Tenemos, en resumen, una legislación ambiental relativamente progresista en los temas de acceso a la información

y consulta a la sociedad, con un enfoque incipiente hacia la incorporación de aspectos de justicia ambiental en la toma de decisiones, pero aún insuficiente a la luz de los inmensos desafíos que la crisis ambiental nos impone. La ley, sin embargo, no norma en detalle la manera como las consultas públicas deben hacerse en el caso del impacto ambiental ni la obligatoriedad de la autoridad ambiental de realizar consultas o tomar en cuenta los planteamientos de la sociedad. En la práctica, la resolución final de una Manifestación de Impacto Ambiental sigue siendo una decisión discrecional de la autoridad ambiental, aún con la consulta pública. Hay, sin lugar a dudas, muchísimo espacio en la organización de la gobernanza ambiental para incorporar las consultas públicas de manera más organizada, para utilizar mejor las modernas herramientas que nos ofrece la información digital en línea para hacer más incluyente el acceso a la información ambiental y, sobre todo, para incorporar una justicia ambiental más equitativa en las provisiones de la ley.

¿Es importante la democracia en la gobernanza ambiental?

Posiblemente debido al gran número de países que participan en los convenios ambientales dentro del marco de las Naciones Unidas, con una gran diversidad de sistemas de gobierno, la literatura existente sobre democracia

y la crisis ambiental es relativamente pequeña. Tanto dentro de las ciencias políticas como de los estudios ambientales, los académicos debaten sobre el efecto de la democracia en la degradación ambiental. Algunos teóricos afirman que la democracia reduce la degradación ambiental. Otros argumentan que la democracia puede no reducir la degradación ambiental o, incluso, perjudicar el medio ambiente. A favor del primer punto de vista están los que subrayan las grandes catástrofes ambientales que han ocurrido en países con economías centralizadas, como el colapso de la agricultura soviética bajo Stalin,²³ o los ejemplos ya mencionados de Chernóbil y el Mar de Aral. A favor del segundo punto de vista están los que subrayan los logros educativos y ambientales de economías con partido único dominante, como Singapur.²⁴ Hasta tiempos recientes, las evidencias empíricas han sido anecdóticas, limitadas y frecuentemente contradictorias.

Varios estudios recientes han tratado de abordar el debate entre democracia y medio ambiente en mayor detalle. En

²³ Robert Conquest, *The Harvest of Sorrow: Soviet Collectivization and the Terror-famine*, Oxford, Oxford University Press, 1987.

²⁴ MFA, *Singapore Green Plan*, Singapore's Voluntary National Review Report to the 2018 UN High-Level Political Forum on Sustainable Development, Singapur, 2018, disponible en https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/19439Singapores_Voluntary_National_Review_Report_v2.pdf (fecha de consulta: 13 de agosto de 2023).

2006, dos investigadores de Estados Unidos, Li y Ruveny, estudiaron el efecto del tipo de régimen político sobre las actividades humanas que dañan directamente el medio ambiente, analizando estadísticamente el efecto de la democracia en cinco aspectos de la degradación ambiental inducida por la actividad humana: a) emisiones de dióxido de carbono; b) emisiones de dióxido de nitrógeno; c) deforestación; d) degradación del suelo; y e) contaminación del agua.²⁵ Encontraron que, como regla general, bajo regímenes democráticos se reducen más los cinco tipos de degradación ambiental que bajo regímenes más autoritarios, pero también encontraron que el efecto de mitigación puede variar en magnitud según el tipo de degradación ambiental. Estos resultados son totalmente congruentes con la historia de acciones ambientales globales. Los países democráticos de Europa y América del Norte, por ejemplo, han sido mucho más efectivos en controlar las emisiones de óxidos de azufre y de CFC que en controlar las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero.

Varios estudios posteriores han explorado en mayor detalle estas primeras investigaciones. Por ejemplo, Marina

²⁵ Quan Li y Rafael Reuveny, "Democracy and Environmental Degradation", en *International Studies Quarterly*, vol. 50, 2006, pp. 935-956.

Povitkina, de la Universidad de Gotemburgo, Suecia, estudió las emisiones de CO₂ en el periodo entre 1970 y 2011 de una muestra de 144 países, para poner a prueba si efectivamente se confirmaba la relación entre las emisiones de CO₂ de las naciones y su nivel de democracia.²⁶ Los resultados, que publicó en 2018, fueron sorprendentes: una mayor democracia sólo está asociada con menores emisiones de CO₂ en países que, además de tener una democracia representativa, poseen asimismo bajos índices de corrupción y alta participación social. Si la corrupción gubernamental es alta, la autora concluye, la opacidad en las acciones de gobierno aumenta, la rendición de cuentas disminuye y las democracias no parecen tener un desempeño mejor que los regímenes autoritarios.

La idea de que la democracia es una condición necesaria, pero no suficiente, para lograr un compromiso ambiental de naciones y comunidades ha sido explorada por otros investigadores. Dryzek y Niemeyer, dos investigadores de la Universidad de Canberra, Australia, han publicado excelentes artículos que suman una novedosa perspectiva

²⁶ Marina Povitkina, "The limits of democracy in tackling climate change", en *Environmental Politics*, vol. 27, 2018, pp. 411-432.

a este problema.²⁷ Agregando más información a los resultados de Povitkina, discutidos en el párrafo anterior, Dryzek y Niemeyer argumentan que el nivel de participación pública en las grandes discusiones ambientales dentro de una democracia es críticamente importante para definir el compromiso que tome una sociedad frente al desafío del cambio ambiental global. Basados en estudios de casos a menor escala, como las ciudades sustentables discutidas anteriormente en este mismo capítulo, argumentan que la clave del éxito de estos casos es lo que ellos llaman *democracia deliberativa*, un concepto que sostiene que para las grandes decisiones que demanda la crisis ambiental global, la democracia debe involucrar algo más que delegar las decisiones públicas a representantes elegidos a través del voto. Para resolver este gran problema, arguyen los autores, las y los ciudadanos en una democracia deben involucrarse en la discusión pública y la toma de decisiones, y este involucramiento debe ser inclusivo y justo para todos los grupos sociales. Abrir las puertas organizadamente a la participación pública puede disminuir la influencia del dinero en las decisiones políticas y abrir las puertas a los medios tradicionales y digitales en

²⁷ John S. Dryzek y Simon Niemeyer, "Deliberative democracy and climate governance", en *Nature Human Behaviour*, vol. 3, 2019, pp. 411-413; Simon Niemeyer, "Democracy and Climate Change: What Can Deliberative Democracy Contribute?", en *Australian Journal of Politics and History*, vol. 59, 2013, pp. 430-449.

la diseminación de información ambiental y la discusión participativa de los grandes problemas relacionados con la crisis ambiental.

Un caso demostrativo: democracia, participación social y justicia ambiental en la Amazonía ecuatoriana

El 20 de agosto de 2023, durante la primera vuelta electoral en Ecuador, la ciudadanía ecuatoriana masivamente aprobó dos referéndums negando los permisos de explotación petrolífera en el Parque Nacional Yasuní, en la Amazonía ecuatoriana, y la explotación minera a cielo abierto en el Chocó Andino. El territorio ahora protegido de la Amazonía abarca un área de más de un millón de hectáreas, en uno de los sitios de biodiversidad más importantes del mundo, una reserva de la biosfera designada por la Unesco, hogar de dos grupos indígenas, los tagaeri y los taromenani, que viven en aislamiento del mundo exterior por su propia voluntad.²⁸

Aunque eclipsados frente a la opinión mundial por la batalla electoral en Ecuador y la proximidad de una segunda

²⁸ AP, "Ecuadorians reject oil drilling in the Amazon, ending operations in a protected area", en *Associated Press*, New York, 21 de agosto de 2023, disponible en <https://apnews.com/article/amazon-ecuador-oil-drilling-referendum-yasuni-5c72a325755976c47a3ec138bdab8537> (fecha de consulta: 1° de septiembre de 2023).

vuelta el 15 de octubre, la decisión tomada en el referéndum fue realmente extraordinaria y representa un modelo para todo el movimiento mundial de justicia climática. Los referéndums de Yasuní y El Chocó demuestran que una democracia participativa, que respeta la voluntad popular, puede ser una herramienta poderosa para la transición hacia un futuro sostenible.

La decisión democrática de proteger Yasuní proviene de una larga historia de trabajo comprometido de grupos indígenas y activistas ambientales, que empezó en la primera década del milenio con un histórico caso contra la multinacional petrolera Chevron, acusada por los pueblos indígenas de la región de contaminar las tierras boscosas de la Amazonía. Muchos de los mismos líderes indígenas y activistas que ayudaron a combatir a Chevron organizaron la votación de 2023 para conservar Yasuní.²⁹

La discusión alrededor del referéndum subraya cómo un concepto hasta hace unos años desconocido ha tomado importancia en la opinión pública: la noción de justicia ambiental. En las últimas décadas, a medida que la crisis

²⁹ Steven Donziger, "The people of Ecuador just made climate justice history. The world can follow", en *The Guardian*, 31 de agosto de 2023, disponible en <https://www.theguardian.com/commentisfree/2023/aug/31/ecuador-oil-drilling-ban-climate-solution> (fecha de consulta: 1° de septiembre de 2013).

ambiental global ha ido manifestándose cada vez con mayor claridad, la ciudadanía ha ido ganando conciencia de que los impactos negativos de las crisis ambientales no se distribuyen equitativamente entre la población: hay grupos humanos mucho más vulnerables frente a la crisis ambiental que otros, como los pueblos indígenas del Yasuní frente a los inversionistas de las grandes corporaciones petroleras.

El referéndum ecuatoriano es importante no sólo para los pueblos indígenas en el Yasuní, que ahora tienen la esperanza de vivir en armonía con su ambiente. Es también un modelo de cómo un proceso democrático participativo puede ayudar a detener la expansión de las multinacionales petroleras y la extracción de combustibles fósiles, realizada en beneficio de una minoría privilegiada y en detrimento de miles o millones de personas que sufren en su entorno las consecuencias del proceso, y es una señal esperanzadora para toda América Latina. La votación subraya también la importancia de proteger nuestras democracias. Sin una democracia sólida que permita a las y los ciudadanos poner temas de importancia crítica para su futuro en las boletas electorales, el referéndum de Yasuní nunca habría ocurrido. Es difícil imaginar una sociedad democrática sin incorporar en su funcionamiento

consideraciones profundas de participación social y de justicia ambiental.

Reflexiones finales

Todos estos antecedentes nos muestran que la relación entre el cambio ambiental y la democracia es compleja y puede presentar muchas facetas. Aunque la crisis ambiental es un fenómeno científico que afecta al planeta en su conjunto y no sólo a la especie humana, su impacto y las respuestas necesarias para abordarlo tienen implicaciones políticas y sociales significativas que se relacionan con la democracia de diversas maneras. Las democracias, nos demuestra la información existente, tienen un mejor desempeño en la protección del ambiente que los regímenes autoritarios. Sin embargo, la democracia no puede basarse únicamente en la elección de representantes y gobernantes a través del voto, a los que se les delegan las decisiones públicas. La participación activa de la ciudadanía en la toma de decisiones es crucial, junto con un sistema abierto y eficiente de transparencia en la información pública, y consideraciones rigurosas de justicia ambiental. Una agenda básica para avanzar en la gobernanza ambiental requiere, por lo menos, de los siguientes aspectos:

Transparencia y acceso a la información. En una democracia, es importante que la información sobre el cambio climático, sus causas, impactos y posibles soluciones esté disponible de manera accesible y transparente para que los ciudadanos puedan tomar decisiones informadas y participar en el debate público sobre políticas ambientales.

Participación ciudadana. Una democracia participativa implica la colaboración activa de las y los ciudadanos en la toma de decisiones políticas. En el contexto del cambio climático, es crucial que la sociedad civil participe y se involucre en la formulación de políticas ambientales y en la adopción de medidas para mitigar y adaptarse a la crisis ambiental que ya ha comenzado.

Justicia y equidad ambiental. La crisis ambiental afecta de manera desproporcionada a distintos grupos sociales, regiones y países. En México, el cambio climático afecta de manera desproporcionada a las comunidades más vulnerables, como las comunidades indígenas y campesinas, los pobres urbanos y las poblaciones costeras. La representación y la inclusión de estas comunidades en los procesos de toma de decisiones son fundamentales para abordar de manera justa y equitativa los impactos del cambio climático.

Responsabilidad gubernamental. La democracia implica que los gobiernos sean responsables ante sus ciudadanos. En el caso del cambio climático, esto implica que los líderes y las instituciones gubernamentales deben asumir la responsabilidad de abordar el problema, establecer políticas efectivas y tomar medidas concretas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la sostenibilidad ambiental, en consulta y colaboración con los sectores ambientalmente comprometidos de la sociedad.

Cooperación internacional. El cambio climático es un desafío global que requiere una cooperación internacional efectiva. En un contexto democrático, los países deben colaborar entre sí, compartir conocimientos, recursos y tecnologías, y comprometerse en acuerdos internacionales para abordar el cambio climático de manera conjunta. Un sistema de ciencia sólido y comprometido y acciones internacionales de diplomacia científica exitosa pueden jugar un papel fundamental en el diálogo entre naciones.

Uno de los más grandes desafíos para articular las acciones de mitigación del cambio climático y la gobernanza democrática radica en las diferentes escalas de tiempo en que operan ambas. La lucha contra el cambio climático requiere acciones sostenidas a largo plazo, en una

escala de décadas, mientras que los sistemas políticos democráticos están impulsados por ciclos electorales mucho más cortos; en México, de seis años.

En resumen, el cambio climático plantea desafíos políticos y sociales que están estrechamente relacionados con los principios y prácticas democráticas, como la participación ciudadana, la responsabilidad gubernamental, la transparencia, la justicia y la cooperación internacional. Abordar el cambio climático de manera efectiva requiere la colaboración y el compromiso tanto de los líderes políticos como de las y los ciudadanos en un marco democrático. Una democracia genuinamente participativa es condición fundamental para enfrentar uno de los desafíos más grandes que ha tenido la humanidad, la sustentabilidad de la biosfera como una gran entidad viva.

Bibliografía

Aburto-Oropeza, Octavio *et al.*, "Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields", en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 105, 2008.

Alfonso S., Tatiana A. y Jorge Peláez Padilla, "Caso Eólicas del Sur en Juchitán: la errónea lectura de la Suprema Corte del derecho a la consulta previa", en *Nexos*, 31 de octubre de 2018.

Anderson, Donald M. *et al.*, "Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences", en *Estuaries*, vol. 25, agosto de 2022.

Arias, Paola *et al.*, "Technical Summary", en *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Reino Unido y Nueva York, Cambridge University Press, 2021.

Associated Press, "Ecuadorians reject oil drilling in the Amazon, ending operations in a protected area", en *Associated Press News*, New York, 21 de agosto de 2023, disponible en <https://apnews.com/article/amazon-ecuador-oil-drilling-referendum-yasuni-5c72a325755976c47a3ec138bdab8537> (fecha de consulta: 1° de septiembre de 2023).

Balvanera, Patricia *et al.*, "Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos", en *Capital natural de México*, vol. II: *Estado de conservación y tendencias de cambio*, México, Conabio, 2009.

Barnosky, Anthony D. *et al.*, "Has the Earth's sixth mass extinction already arrived?", en *Nature*, vol. 471, marzo de 2011.

Beaulieu, Jake J. *et al.*, "Eutrophication will increase methane emissions from lakes and impoundments during the 21st century", en *Nature Communications*, vol. 10, 26 de marzo de 2019.

Bellón, Mauricio R. *et al.*, "Evolutionary and food supply implications of ongoing maize domestication by Mexican *campesinos*", en *Proceedings of the Royal Society B*, vol. 285, 2018.

Birkmann, Joern *et al.*, "Poverty, Livelihoods and Sustainable Development", en *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation*

and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, Nueva York, Cambridge University Press, 2022.

Cairns, Michael A. *et al.*, *Carbon emissions from spring 1998 fires in tropical Mexico*, Washington D. C., Department of Energy, 1999, disponible en <https://www.osti.gov/biblio/339581> (fecha de consulta: 15 de julio de 2023).

Callaway, Ewen, "Domestication: The birth of rice", en *Nature*, vol. 514, 2014.

Campos Cabral, Valentina y Patricia Ávila-García, "Entre ciudades y presas. Oposición campesina al trasvase de agua y la defensa del río Temascaltepec, México", en *Revista de Estudios Sociales*, núm. 46, mayo-agosto de 2013.

Canfield, Donald *et al.*, "The Evolution and Future of Earth's Nitrogen Cycle", en *Science*, vol. 330, 8 de octubre de 2010.

Caparrós, Martín, *Contra el cambio*, Barcelona, Editorial Anagrama, 2010.

Cardinale, Bradley J. *et al.*, "Biodiversity loss and its impact on humanity", en *Nature*, vol. 486, 6 de junio de 2012.

Carpenter, Stephen R., "Eutrophication of aquatic ecosystems: Bistability and soil phosphorus", en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 102, núm. 29, 12 de mayo de 2005.

Carpenter, Stephen R. *et al.*, "Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen", en *Ecological Applications*, vol. 8, núm. 3, 1º de agosto de 1998.

Caso, Margarita *et al.*, "Divergent ecological effects of oceanographic anomalies on terrestrial ecosystems of the Mexican Pacific coast", en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 104, núm. 25, 19 de junio de 2007.

Ceballos, Gerardo *et al.*, "Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines", en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 114, núm. 30, 10 de julio de 2017.

CEPAL, Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Publicación de Naciones Unidas, 2022.

Chiang, Felicia *et al.*, "Evidence of anthropogenic impacts on global drought frequency, duration, and intensity"; en *Nature Communications*, vol. 12, 12 de mayo de 2021.

CIA, "Population Pyramids by Region"; en *The World Factbook*, Washington, Central Intelligence Agency, s.f., disponible en <https://www.cia.gov/the-world-factbook/references/population-pyramids-by-region/>

Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, "Air"; United Nations Economic Commission for Europe, Environmental Policy Report, 2023, disponible en <https://unece.org/environmental-policy-1/air>

Conquest, Robert, *The Harvest of Sorrow: Soviet Collectivization and the Terror-famine*, Oxford, Oxford University Press, 1987.

Copernicus Climate Change Newsletter, *July 2023 sees multiple global temperature records broken*, Copernicus Climate Change Newsletter, 8 de agosto de 2023, disponible en <https://climate.copernicus.eu/july-2023-sees-multiple-global-temperature-records-broken>

Costanza, Robert *et al.*, "The Value of Coastal Wetlands for Hurricane Protection"; en *Ambio*, vol. 37, núm. 4, 2008.

Cox, Arthur N. (ed.), *Allen's Astrophysical Quantities* (4ª ed.), Washington D. C., AIP Press, 2000.

Crutzen, Paul J. y Eugene F. Stoermer, "The 'Anthropocene'", en *Global Change Newsletter*, vol. 41, mayo de 2000.

Díaz-Caravantes, Rolando *et al.*, "Las plantas potabilizadoras en el río Sonora: una revisión de la recuperación del desastre", en *Región y Sociedad*, vol. 33, 2021.

Dirzo, Rodolfo *et al.*, "Defaunation in the Anthropocene", en *Science*, vol. 345, 25 de julio de 2014.

Donziger, Steven, "The people of Ecuador just made climate justice history. The world can follow", en *The Guardian*, 31 de agosto de 2023, disponible en <https://www.theguardian.com/commentisfree/2023/aug/31/ecuador-oil-drilling-ban-climate-solution>

Douville, Hervé *et al.*, "Water Cycle Changes", en *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Cambridge University Press, 2021.

Dryzek, John S. y Simon Niemeyer, "Deliberative democracy and climate governance", en *Nature Human Behaviour*, vol. 3, núm. 5, abril de 2019.

Elliott, Larry, "Can the world economy survive without fossil fuels?", en *The Guardian*, 8 de abril de 2015, disponible en <https://www.theguardian.com/news/2015/apr/08/can-world-economy-survive-without-fossil-fuels#comments>

Ezcurra, Exequiel, "Agua y justicia social", en *El País*, 22 de marzo de 2017, disponible en http://internacional.elpais.com/internacional/2017/03/21/actualidad/1490132542_068477.html

Ezcurra, Exequiel *et al.*, "A natural experiment reveals the impact of hydroelectric dams on the estuaries of tropical rivers", en *Science Advances*, vol. 5, 13 de marzo de 2019.

Ezcurra, Paula *et al.*, "Coastal landforms and accumulation of mangrove peat increase carbon sequestration and storage", en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 113, 2016.

Farman, Joseph C. *et al.*, "Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/NOx interaction", en *Nature*, vol. 315, 1985.

García-Lara, Silverio y Sergio O. Serna-Saldivar, "Corn History and Culture", en Sergio O. Serna-Saldivar (ed.), *Corn: Chemistry and Technology*, AACC International Press, 2019.

Ghavam, Seyedezhoma *et al.*, "Sustainable Ammonia Production Processes", en *Frontiers in Energy Research*, vol. 9, 29 de marzo de 2021.

Global Monitoring Laboratory, *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*, NOAA Earth System Research Laboratories, disponible en <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>

González-Abraham, Charlotte *et al.*, "The Human Footprint in Mexico: Physical Geography and Historical Legacies", en *PLOS ONE*, vol. 10, núm. 5, 4 de mayo de 2015.

Goodall, Jane *et al.*, *The Book of Hope: A Survival Guide for Trying Times*, Nueva York, Celadon Books, 2021.

Greenspoon, Lior *et al.*, "The global biomass of wild mammals", en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 120, 2023.

Guerrero, Tanni *et al.*, "El agua en la ciudad de México", en *Ciencias*, núm. 94, UNAM, 2009.

Haberl, Helmut *et al.*, "Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems", en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 104, núm. 31, 31 de julio de 2007.

Heisler, Jana L. *et al.*, "Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus", *Harmful Algae*, vol. 8, diciembre de 2008.

Humboldt, Alejandro de, *Ensayo Político sobre el Reino de la Nueva España*, París, Imprenta de J. Smith, 1822.

Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, *Ecosystem services*, IPBES, disponible en <https://www.ipbes.net/glossary/ecosystem-services>

Intergovernmental Panel on Climate Change, *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*, Génova, IPCC, 2023.

Keeling, Charles D., "The Concentration and Isotopic Abundances of Carbon Dioxide in the Atmosphere", en *Tellus*, vol. 12, mayo de 1960.

King County Climate Action Team (eds.), *King County 2020 Strategic Climate Action Plan*, Seattle, King County Climate Action Team, 2020.

Le Treut, Hervé *et al.*, "Historical Overview of Climate Change", en *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Cambridge University Press, 2007.

Leigh Jr., Egbert Giles *et al.*, "Why Do Some Tropical Forests Have So Many Species of Trees?", en *Biotropica*, vol. 36, núm. 4, diciembre de 2004.

Li, Quan y Rafael Reuveny, "Democracy and Environmental Degradation", en *International Studies Quarterly*, vol. 50, núm. 4, diciembre de 2006.

Lomborg, Bjørn, *The Skeptical Environmentalist: Measuring the Real State of the World*, Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press, 2001.

López-Medellín, Xavier *et al.*, "Oceanographic anomalies and sea-level rise drive mangroves inland in the Pacific coast of Mexico", en *Journal of Vegetation Science*, vol. 22, febrero de 2011.

López-Medellín, Xavier y Exequiel Ezcurra, "The productivity of mangroves in northwestern Mexico: a meta-analysis of current data", en *Journal of Coastal Conservation*, vol. 16, 2012.

Lynas, Mark *et al.*, "Greater than 99% consensus on human caused climate change in the peer-reviewed scientific literature", en *Environmental Research Letters*, vol. 16, núm. 11, 19 de octubre de 2021.

Mankin, Justin S. *et al.*, *NOAA Drought Task Force Report on the 2020–2021 Southwestern U.S. Drought*, NOAA Drought Task Force IV, NOAA, Boulder, Colorado, 2021, disponible en <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/46463>

Mannion, A. (ed.), *Carbon and its domestication*, Dordrecht, Springer, 2006.

Martínez-Alier, Joan, *De la economía ecológica al ecologismo popular*, 2ª ed., Barcelona, Icaria, 1994.

Martínez-Alier, Joan y Jordi Roca Jusmet, *Economía ecológica y política ambiental*, México, Fondo de Cultura Económica, 2000.

Martínez-Alier, Joan, *The Environmentalism of the Poor: A Study of Ecological Conflicts and Valuation*, Edward Elgar Publishing, 2002.

Martínez-Alier, Joan *et al.*, "Is there a global environmental justice movement?", en *The Journal of Peasant Studies*, vol. 43, núm. 3, 2016.

Martínez-Alier, Joan, *Land, Water, Air and Freedom: The Making of World Movements for Environmental Justice*, Cheltenham, Edward Elgar Publishing, 2023.

Martínez-Ramos, Miguel *et al.*, "Anthropogenic disturbances jeopardize biodiversity conservation within tropical rainforest reserves", en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 113, 2016.

Ministry of Foreign Affairs, *Singapore Green Plan*, Singapore's Voluntary National Review Report to the 2018 UN High-Level Political Forum on Sustainable Development, Singapur, 2018, disponible en https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/19439Singapores_Voluntary_National_Review_Report_v2.pdf

Micklin, Philip, "The Aral Sea Disaster", en *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, vol. 35, 2007.

Molina, Mario J. y F. Sherwood Rowland, "Stratospheric Sink for Chlorofluoromethanes: Chlorine Atom-Catalyzed Destruction of Ozone", en *Nature*, vol. 249, 1974.

Molina, Mario, José Sarukhán y Julia Carabias, *El cambio climático: Causas, efectos y soluciones*, México, Fondo de Cultura Económica, 2017.

Moreno Unda, Arcelia Amaranta *et al.*, "El Programa Nacional de Desmontes en México", en Miguel Aguilar Robledo, H. Reyes Hernández y O. Reyes Pérez (eds.), *La historia ambiental en México: Estudios de caso*, San Luis Potosí, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 2019.

Moreno Vázquez, José Luis, *Despojo de agua en la cuenca del río Yaqui*, Hermosillo, El Colegio de Sonora, 2015.

Newsweek México, "Urbanismo salvaje en Tajamar", en *Newsweek Español*, 31 de enero de 2016, disponible en <https://newsweek.espanol.com/2016/01/urbanismo-salvaje-en-tajamar/>

Niemeyer, Simon, "Democracy and Climate Change: What Can Deliberative Democracy Contribute?", en *Australian Journal of Politics and History*, vol. 59, 2013.

Oki, Taikan *et al.*, "The Global Water Cycle", en *The State of the Planet: Frontiers and Challenges in Geophysics*, American Geophysical Union, 2013.

Organización Mundial de la Salud, *Human health and climate change in Pacific Island countries*, Regional Office for the Western Pacific, 4 de noviembre de 2015, disponible en <https://www.who.int/publications/i/item/9789290617303>

Oropeza Escobar, Minerva, "Poblamiento y colonización en el Uxpanapa: del distrito de drenaje al municipio libre", en *Sotavento*, núm. 5, 1998.

Ortega Font, Nuria Merce, "El agua en números", en *Casa del Tiempo*, núm. 41, 2011, disponible en https://www.uam.mx/difusion/casadeltiempo/41_iv_mar_2011/casa_del_tiempo_eIV_num41_39_40

Population Pyramid, "Mexico", en *Population Pyramids of the World from 1950 to 2100*, disponible en <https://www.populationpyramid.net/mexico/2023/>

Pörtner, Hans-Otto *et al.* (eds.), "Summary for Policymakers", en *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment*

Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Cambridge University Press, 2022.

Povitkina, Marina, "The limits of democracy in tackling climate change", en *Environmental Politics*, vol. 27, 2018.

Real Academia Sueca de Ciencias, "The ozone layer – The Achilles heel of the biosphere"; The Nobel Prize in Chemistry 1995, disponible en <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1995/press-release/>

Ruttenberg, Kathleen, "8.13 - The Global Phosphorus Cycle", en *Treatise on Geochemistry*, vol. 8, 2003.

Sánchez-Bayo, Francisco y Kris A.G. Wyckhuys, "Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers", en *Biological Conservation*, vol. 232, 2019.

Sanderson, Eric W. *et al.*, "The Human Footprint and the Last of the Wild: The human footprint is a global map of human influence on the land surface, which suggests that human beings are stewards of nature, whether we like it or not", en *BioScience*, vol. 52, 2002.

Seager, Richard *et al.*, "Mechanisms of a Meteorological Drought Onset: Summer 2020 to Spring 2021 in Southwestern North America", en *Journal of Climate*, vol. 35, 2022.

Shao, Elena, "What This Year's 'Astonishing' Ocean Heat Means for the Planet", en *The New York Times*, 3 de agosto de 2023, disponible en <https://www.nytimes.com/interactive/2023/08/03/climate/ocean-temperatures-heat-earth.html>

Smil, Vaclav, *Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the Transformation of World Food Production*, Cambridge, MIT Press, 2004.

Smit, Jan y Jan Hertogen, "An extraterrestrial event at the Cretaceous-Tertiary boundary", en *Nature*, vol. 285, 22 de mayo de 1980.

Smith, Jim T. y Nicholas A. Beresford, *Chernobyl: Catastrophe and Consequences*, Berlín, Springer-Verlag, 2005.

Stanhill, Gerald, "Evapotranspiration", en *Encyclopedia of Soils in the Environment*, Elsevier, 2005.

Statista, *Crude birth rate in Mexico from 1900 to 2020*, Nueva York, Statista Inc., disponible en <https://www.statista.com/statistics/1037615/crude-birth-rate-mexico-all-time/>

Statista, *Life expectancy (from birth) in Mexico, from 1890 to 2020*, Nueva York, Statista Inc., disponible en <https://www.statista.com/statistics/1041144/life-expectancy-mexico-all-time/>

Syvitski, Jaia *et al.*, "Extraordinary human energy consumption and resultant geological impacts beginning around 1950 CE initiated the proposed Anthropocene Epoch", en *Communications Earth & Environment*, vol. 1, 16 de octubre de 2020.

Timperley, Jocelyn, "How to fix the broken promises of climate finance", en *Nature*, vol. 598, 2021.

Toscana Aparicio, Alejandra y Pedro de Jesús Hernández Canales, "Gestión de riesgos y desastres socioambientales. El caso de la mina Buenavista del cobre de Cananea", en *Investigaciones Geográficas*, vol. 93, 2017.

Union of Concerned Scientists, *Climate Solutions*, Cambridge, Mass, Union of Concerned Scientists, disponible en <https://www.ucsusa.org/climate/solutions>

Van der Werf, Guido *et al.*, "CO₂ emissions from forest loss", en *Nature Geoscience*, núm. 2, noviembre de 2009.

Vitousek, Peter M. *et al.*, "Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences", en *Ecological Applications*, vol. 7, 1 de agosto de 1997.

Vogel, Gretchen, "Where have all the insects gone?", en *Science*, vol. 356, 2017.

Williams, A. Park *et al.*, "Rapid intensification of the emerging southwestern North American megadrought in 2020–2021", en *Nature Climate Change*, vol. 12, 2022.

Sobre el autor y la autora

Exequiel Ezcurra es doctor en Ecología por la Universidad de Gales y miembro emérito del Sistema Nacional de Investigadores de México. Fue presidente científico de la Convención Internacional sobre el Comercio de Especies Amenazadas, editor del *Journal of Vegetation Science*, presidente del Instituto Nacional de Ecología en México, decano del Museo de Historia Natural de San Diego, California, y director del Instituto para México y los Estados Unidos en la Universidad de California (UC MEXUS).

Por su trabajo a favor de la conservación del medio ambiente y la cooperación internacional, fue designado miembro correspondiente de la Academia Mexicana de Ciencias y miembro distinguido de la *Ecological Society of America*. Actualmente es profesor distinguido de Ecología en la Universidad de California, desde donde impulsa varios proyectos de investigación colaborativa entre México y California.

Ha publicado más de 300 artículos, libros, capítulos y ensayos, y desarrolló el guion científico de la película documental *Oasis Marino* galardonada con varios premios internacionales. Ha recibido, entre otros reconocimientos, el *Conservation Biology Award*, el *Pew Fellowship*, el premio UAM a la Investigación, la Cátedra Miguel Alemán en Medio Ambiente y el *Science Diplomacy Award* de la Asociación Americana para el Avance de las Ciencias.

Paula Ezcurra concluyó su licenciatura en Biología Marina en 2014 en la Universidad de California en Santa Bárbara, donde trabajó en temas de educación científica e investigación en buceo científico. Como parte de su tesis, Paula desarrolló un novedoso proyecto para determinar el potencial de secuestro de carbono de los bosques de manglar en Baja California y el Pacífico mexicano. En 2016 y 2017, realizó estudios de maestría en Ciencia Climática y Política Pública en el *Scripps Institution of Oceanography*. Su proyecto final, sobre el aumento del nivel del mar en Puerto Rico, contribuyó al Reporte del Tercer Grupo de Trabajo (Sociedad y Economía) del Consejo de Cambio Climático de Puerto Rico (<https://www.pr-ccc.org/>). Trabajó como investigadora asistente en el laboratorio de Octavio Aburto en Scripps, después, como coordinadora de proyectos para el *California Collaborative for Climate Change Solutions* y posteriormente en el laboratorio del

Dr. Veerabhadran “Ram” Ramanathan en la Universidad de California, San Diego, donde su trabajo incluyó la iniciativa *Climate Education for All*.

Nacida en la Ciudad de México, actualmente trabaja para la organización *Climate Science Alliance*, cuya misión es resguardar las comunidades naturales y humanas ante un clima cambiante, con énfasis en la vulnerabilidad de los grupos indígenas de la región fronteriza México-Estados Unidos.

Ha publicado 10 artículos científicos en revistas internacionales de alto nivel, como *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *Science Advances*, *Ecology and Evolution*, *Conservation Letters* y *Journal of Cultural Heritage*.

47

Cambio climático, crisis ambiental y democracia. Reflexiones sobre gobernanza ambiental en el Antropoceno

La edición estuvo al cuidado de la Dirección Ejecutiva de Capacitación Electoral y Educación Cívica del Instituto Nacional Electoral.

CUADERNOS DE DIVULGACIÓN DE LA CULTURA DEMOCRÁTICA (TÍTULOS PUBLICADOS)

1. **Principios y valores de la democracia**, Luis Salazar y José Woldenberg, 1993
2. **La cultura política democrática**, Jacqueline Peschard, 1994
3. **La democracia como forma de gobierno**, José F. Fernández Santillán, 1995
4. **La participación ciudadana en la democracia**, Mauricio Merino, 1995
5. **Elecciones y democracia**, José Antonio Crespo, 1995
6. **Gobernabilidad y democracia**, Antonio Camou, 1995
7. **Sistemas electorales y de partidos**, Leonardo Valdés, 1995
8. **Partidos políticos y democracia**, Jaime F. Cárdenas Gracia, 1996
9. **Esferas de la democracia**, Jesús J. Silva-Herzog Márquez, 1996
10. **Tolerancia y democracia**, Isidro H. Cisneros, 1996
11. **Oposición y democracia**, Soledad Loaeza, 1996
12. **Estado de derecho y democracia**, Jesús Rodríguez Zepeda, 1996
13. **Diálogo y democracia**, Laura Baca Olamendi, 1996
14. **Democratización y liberalización**, César Cansino, 1997
15. **Consulta popular y democracia directa**, Jean-François Prud'homme, 1997
16. **Democracia y educación**, Gilberto Guevara Niebla, 1998
17. **Federalismo, gobiernos locales y democracia**, Tonatiuh Guillén López, 1999
18. **Libertad y democracia**, Víctor Alarcón Olguín, 1999
19. **Gobiernos y democracia**, Javier Hurtado, 1999
20. **Sistemas parlamentario, presidencial y semipresidencial**, Ricardo Espinoza Toledo, 1999
21. **Rendición de cuentas y democracia. El caso de México**, Luis Carlos Ugalde, 2002
22. **Concepciones de la democracia y justicia electoral**, José Ramón Cossío D., 2002
23. **Género y democracia**, Estela Serret, 2004
24. **Comunicación y democracia**, Enrique E. Sánchez Ruiz, 2004

25. **Democracia y (cultura de la) legalidad**, Pedro Salazar Ugarte, 2006
26. **Multiculturalismo y democracia**, Lourdes Morales Canales, 2008
27. **Ciudadanía y democracia**, Alberto J. Olvera, 2008
28. **Democracia y formación ciudadana**, Teresa González Luna Corvera, 2010
29. **Sufragio extraterritorial y democracia**, Víctor Alejandro Espinoza Valle, 2011
30. **Políticas públicas y democracia**, David Arellano Gault y Felipe Blanco, 2013
31. **Derechos fundamentales y democracia**, Miguel Carbonell, 2013
32. **Formación ciudadana en México**, Silvia L. Conde, 2014
33. **Democracia y organismos internacionales**, Alejandra Nuño, 2016
34. **Democracia y medios en México: el papel del periodismo**, Manuel Alejandro Guerrero, 2016
35. **Democracia y burocracia**, Guillermo M. Cejudo, 2016
36. **Democracia, populismo y elitismo**, Luis Daniel Vázquez Valencia, 2016
37. **Los derechos humanos y la democracia en el sistema interamericano**, Natalia Saltalamacchia y María José Urzúa, 2016
38. **Mujeres y derechos políticos en México: una introducción conceptual**, Ricardo Ruiz Carbonell, 2017
39. **Democracia y gobiernos municipales en México: de la política a las políticas**, Oliver D. Meza, 2017
40. **Democracia y género. Historia del debate público en torno al sufragio femenino en México**, Gabriela Cano, 2018
41. **Democracia, privacidad y protección de datos personales**, María Solange Maqueo Ramírez y Alessandra Barzizza Vignau, 2019
42. **Los debates electorales en la democracia contemporánea. Apuntes para analizar su presencia, función y evolución en las campañas**, Julio Juárez Gámiz, 2021
43. **Democracia y federalismo**, Laura Flamand y Juan C. Olmeda, 2021
44. **Poder judicial y democracia**, Julio Ríos Figueroa, 2022
45. **Democracia y discriminación**, Mónica Maccise Duayhe, 2022
46. **Democracia y confianza**, Julia Isabel Flores, 2023

47

 CUADERNOS DE
DIVULGACIÓN DE LA
CULTURA DEMOCRÁTICA



Consulta el catálogo
de publicaciones del INE