

El cambio climático y sus repercusiones: crecientes factores de estrés para las sociedades humanas

Martin Beniston

El profesor Martin Beniston es director del Instituto de Ciencias del Medio Ambiente de la Universidad de Ginebra, Suiza.

Resumen

La conciencia de que los seres humanos deben preocuparse por el único «sistema de sostén de vida» representado por la Tierra y su medio ambiente tal vez se deba, en parte, al hecho de que, hasta hace poco, la evolución de la humanidad dependía mayormente de la calidad del medio ambiente y de los recursos que éste brinda, esto es, agua, alimentos y unas condiciones de salud favorables. Esos recursos siguen siendo esenciales, a pesar de los avances tecnológicos y de la aparente resistencia a la degradación del medio ambiente que afecta a muchas partes del mundo. Actualmente, las condiciones indispensables para la sostenibilidad humana (calidad y cantidad de agua, seguridad alimentaria y salud) se ven potencialmente amenazadas a causa de numerosos factores inducidos por el hombre. Entre éstos, el cambio climático es, sin duda, uno de los aspectos más duraderos de las perturbaciones antropogénicas de los recursos naturales. Este artículo aborda la posible evolución del clima a lo largo del siglo XXI, algunos impactos climatológicos importantes que pueden determinar la vida futura de las sociedades y los problemas que pueden presentarse, como las rivalidades por los recursos naturales y los conflictos y migraciones causados por el medio ambiente.

En casi todo el mundo, las actividades humanas transforman el medio ambiente del planeta. Entre los numerosos factores que contribuyen al cambio ambiental mundial se cuentan el cambio en la forma de usar la tierra, la desertificación y la deforestación, la pérdida de biodiversidad, la contaminación atmosférica, el agotamiento de la capa de ozono y el cambio climático. Los cambios en las tendencias medias y extremas del clima son capaces de poner en peligro los recursos vitales. Los ecosistemas se tornan más sensibles a la aparición, invasión y propagación de especies oportunistas. Muchas de estas presiones ambientales actúan de modo sinérgico y agravan la situación de estrés y los efectos adversos que la degradación del medio ambiente puede tener en las actividades humanas y la capacidad de carga de las distintas regiones.

Los seres humanos no son los únicos receptores del cambio ambiental sino que, en muchos casos, son sus causantes. La sobreexplotación de los recursos en el mundo industrializado y las políticas económicas no sustentables han generado muchos de los factores que provocan el cambio climático. En los países menos desarrollados, el elevado crecimiento demográfico se relaciona con la degradación del medio ambiente porque la población local procura mantener o mejorar su base de recursos y su nivel económico mediante la sobreexplotación de su medio ambiente¹. Esto se hace, en general, sin aplicar estrategias de gestión ambiental de largo plazo, lo que puede causar el rápido agotamiento de los recursos o tornarlos ineficaces.

Debido a los avances tecnológicos y a la presencia de recursos que son, en apariencia, adecuados, el mundo industrializado en particular tiene la impresión de que los recursos vitales básicos (el agua, los alimentos, la salud y la vivienda) son abundantes y prácticamente ilimitados. Sin embargo, con frecuencia se presentan acontecimientos graves que nos recuerdan que el hambre y la enfermedad son fenómenos difundidos en muchas partes del mundo y que, a finales del siglo XX, había más de 550 millones de personas que no tenían acceso al agua potable². Además, incluso en las sociedades tecnológicamente avanzadas, el agua, los alimentos y la salud constituyen necesidades básicas e interrelacionadas para la supervivencia humana. Todos estos elementos dependen de factores ambientales como el clima y son sensibles a los cambios en las condiciones ambientales existentes. Dichos cambios pueden trastocar este delicado equilibrio incluso en los países que gozan de condiciones fiables en materia de seguridad alimentaria, calidad y cantidad de agua y saneamiento.

El cambio climático en el siglo XXI

A finales de 1980, cuando se inició el debate sobre el cambio climático, las estimaciones sobre la amplitud del calentamiento global causados por el efecto in-

- 1 Barry Commoner, "Rapid population growth and environmental stress", *International Journal of Health Services*, vol. 21, n.º 2, 1991, pp. 199-227; Anne R. Pebley, "Demography and the environment", *Demography*, vol. 35, n.º 4, 1998, pp. 377-389.
- 2 UNESCO, *Conferencia Internacional sobre los Recursos Hídricos Mundiales a comienzos del Siglo XXI: El agua, ¿una crisis en ciernes?*, París, 3-6 de junio de 1998; Naciones Unidas, Informe 2009 sobre los Objetivos de Desarrollo del Milenio, Nueva York, 2009, 60 pp.

vernadero indicaban que, para finales del siglo XXI, las temperaturas medias mundiales podían aumentar entre 1,5 y 5° C. Pasadas más de dos décadas, y con modelos climáticos mucho más detallados, el posible intervalo de aumento en la temperatura atmosférica mundial sigue siendo básicamente el mismo: según datos del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), el aumento oscilará entre 1,5 y 5,8° C³. Cabe destacar también que, en 1897, Svante Arrhenius, distinguido fisicoquímico sueco galardonado con el Premio Nobel, calculó por primera vez el posible efecto de los gases de invernadero en la temperatura de la Tierra y concluyó que la duplicación del CO₂ en la atmósfera llevaría a un calentamiento de 4° C, cifra que se encuentra dentro de los límites de los resultados alcanzados mediante los modelos climáticos más avanzados de hoy.

En los documentos que siguieron a los informes del Panel Internacional sobre el Cambio Climático, publicados en 1996, 2001 y 2007, se aplicaron modelos climáticos de mayor o menor complejidad para evaluar la respuesta del sistema climático al forzamiento antropogénico que tiene lugar en el siglo XXI. Algunos de esos sistemas se basan en los modelos acoplados océano-atmósfera, en modelos de circulación atmosférica general y en modelos más simples, concebidos para investigar un elemento particular del sistema, como el ciclo global del carbono, o para realizar integraciones mucho más adelantadas en el tiempo que los modelos de circulación general, más intensivos en recursos informáticos. A fin de captar los límites de incertidumbre de los resultados presentados por los modelos e investigar la variabilidad inherente al sistema climático, se han realizado «simulaciones de ensamble», en las que se utiliza un conjunto de modelos diferentes que emplean el mismo escenario de forzamiento, pero bajo condiciones iniciales ligeramente distintas⁴. Las pequeñas perturbaciones en las condiciones iniciales resultan en una variabilidad climática generada internamente, que produce resultados distintos para los diferentes miembros de las simulaciones de ensamble. Puede considerarse que esos resultados reflejan la variabilidad natural del sistema, a la que se superpone la fuerte señal antropogénica. El enfoque de ensamble ofrece una estrategia más coherente para las simulaciones del clima, y ha reproducido satisfactoriamente las distribuciones observadas de la presión, la temperatura y las precipitaciones en las actuales condiciones climáticas, según informan Lambert y Boer⁵.

La figura 1 muestra el posible intervalo de calentamiento global en respuesta a una serie de escenarios de emisión de gases de invernadero elaborados

- 3 Susan Solomon *et al.* (eds.), *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 University Press para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), Cambridge, 2007, 996 pp.
- 4 Por ejemplo, Cedo Brankovic y Tim N. Palmer, “Seasonal skill and predictability of ECMWF PROVOST ensemble”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 126(B), n.º 567, 2000, pp. 2035–2067; Francisco J. Doblas-Reyes, Michel Déqué y Jean-Philippe Piedelievre, “Model and multi-model spread and probabilistic seasonal forecasts in PROVOST”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 126(B), n.º 567, 2000, pp. 2069–2089; Jacques Derome *et al.*, “Seasonal predictions based on two dynamical models”, *Atmosphere-Ocean*, vol. 39, n.º 4, 2001, pp. 56–68.
- 5 Steven J. Lambert y George J. Boer, “CMIP1 evaluation and intercomparison of coupled climate models”, *Climate Dynamics*, vol. 17, n.º 2–3, 2001, pp. 83–106.

por Nakicenovic y otros para el IPCC⁶. El intervalo ilustrado en el gráfico no es simplemente resultado de la incertidumbre en las simulaciones de modelos climáticos, sino que refleja la distribución de los posibles futuros socioeconómicos. Éstos se basan en sutiles combinaciones de factores demográficos y de crecimiento económico, opciones tecnológicas y opciones de políticas que conducen a niveles variables de carbono en la atmósfera. Obviamente, la intensidad de la respuesta del sistema climático para el año 2100 guardará relación directa con los niveles acumulados de carbono atmosférico desde hoy hasta finales de este siglo.

Los resultados obtenidos mediante modelos acoplados océano-atmósfera de circulación general permiten trazar el mapa de la distribución geográfica de los cambios. Los resultados basados en el escenario SRES A2 del IPPC⁷ se muestran aquí a fin de poner de relieve la que podría ser la respuesta del sistema climático a uno de los forzamientos más pronunciados inducidos por los gases de invernadero. En el escenario A2 se presume un elevado nivel de emisiones durante el curso del siglo XXI causado por las bajas prioridades establecidas en las estrategias de reducción de los gases de invernadero y por el alto crecimiento demográfico en el mundo en desarrollo. Este escenario genera la presencia de niveles de CO₂ en la atmósfera de aproximadamente 800 ppmv (partes por millón por volumen) para el año 2100, cifra que casi triplica los valores preindustriales y permite estimar el límite superior de los escenarios climáticos futuros examinados por el IPCC (2007).

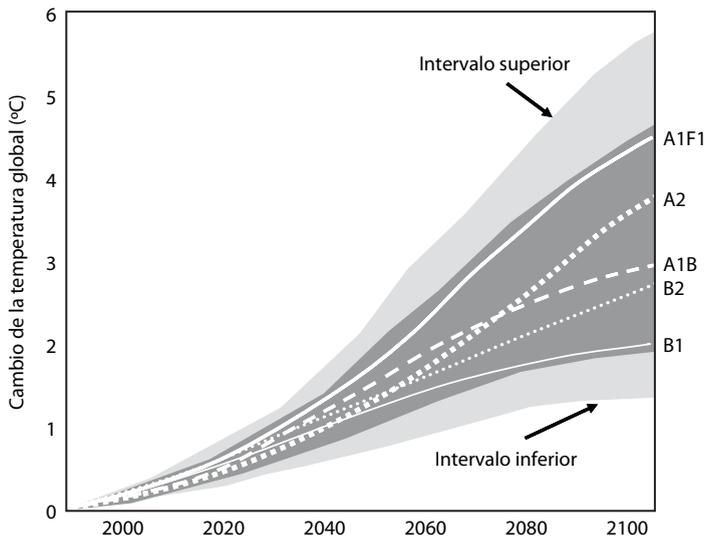


Figura 1. Estimaciones del calentamiento global en el futuro según diferentes escenarios de emisión de gases de invernadero elaborados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Fuente: IPCC, 2007).

6 Nebojsa Nakicenovic *et al.*, *IPCC Special Report on Emissions Scenarios*, Cambridge University Press, Cambridge, 2000, 599 pp.

7 *Ibid.*

La figura 2 muestra la diferencia de las temperaturas entre el clima de base (1980-1999) y el clima determinado mediante el escenario (2080-2099). Los cambios de temperatura son mayores en las latitudes elevadas; los cambios que se esperan en la capa de nieve y el hielo marino en el Océano Ártico posiblemente causen modificaciones muy significativas del balance energético en la superficie, particularmente en términos del albedo (reflectividad). Por ende, las regiones en las altas latitudes ejercerían en el sistema climático una retroalimentación positiva mucho más fuerte que los trópicos, zonas en que las características esenciales de la superficie no experimentarían un cambio tan marcado. Una excepción a esta situación son las regiones caracterizadas por la deforestación generalizada, donde el albedo y las características térmicas y de humedad del suelo son alterados por la presencia de cultivos sistemáticos y de árboles que reemplazan las zonas anteriormente ocupadas por bosques pluviales, modificando de este modo los climas de escala regional y continental. Los cambios de temperatura también exhiben mayor amplitud en los continentes que en los océanos, debido a la superior capacidad térmica del agua.

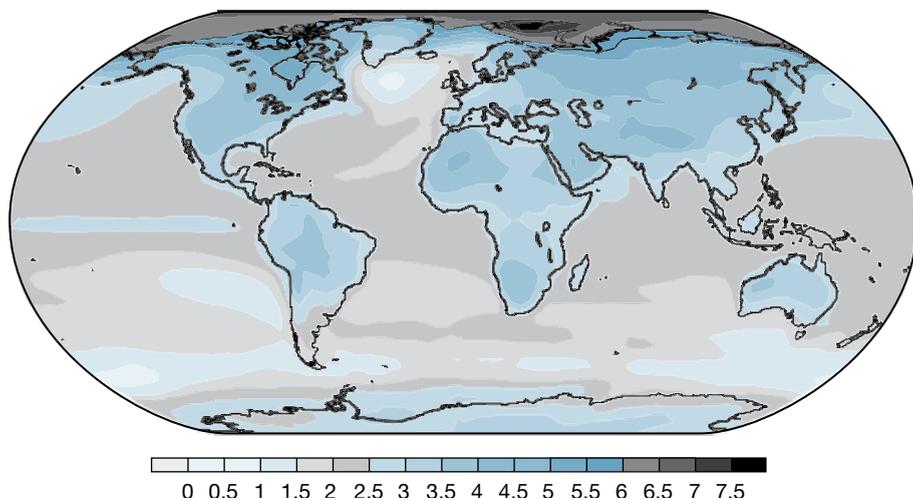


Figura 2: Cambios en la temperatura entre el clima actual (1980-1999) y el clima futuro (2080-2099), basados en simulaciones de ensamble (Fuente: IPCC, 2007).

En términos generales, los cambios en las precipitaciones exhiben una doble modalidad. Sus características distintivas son, entre otras, el aumento de la sequedad (en promedio) en las zonas oceánicas situadas en latitudes medias y en los límites de los continentes afectados, la mayor sequedad de la zona intertropical, y las precipitaciones más abundantes en las latitudes medianas a altas. En el clima del futuro, se observan sustanciales reducciones en los promedios de las precipitaciones en la cuenca del Mediterráneo, desde la zona norte de África hasta Europa central y Oriente Próximo. La actividad de los sistemas generadores de lluvia disminuye en respuesta a los menores contrastes de las temperaturas entre el ecuador

y los polos. Sin embargo, existe la posibilidad de que, en el futuro, aumenten los sistemas de gran intensidad y corta duración.

A mayores latitudes en el hemisferio norte, los modelos simulan los aumentos en las precipitaciones en respuesta al fortalecimiento del ciclo hidrológico en un clima más caluroso y a los cambios en la trayectoria de las tormentas. Las regiones montañosas, que constituyen la fuente de más de la mitad del agua superficial del mundo, también experimentarán diferentes niveles de cambio, según su localización geográfica⁸. A altitudes medianas, las precipitaciones invernales pueden presentarse más como lluvia que como nieve, en comparación con la actualidad, y pueden conllevar importantes cambios en los regímenes de escorrentía en las cuencas de los ríos que se originan en zonas montañosas, tanto en términos de cantidad como de estacionalidad. A su vez, esos cambios modificarían profundamente la disponibilidad de agua para las tierras bajas más pobladas, situadas aguas abajo de las zonas montañosas⁹. En otras regiones, por ejemplo en las regiones de los bosques nubosos tropicales, el incremento sostenido de los actuales niveles de condensación tendría efectos devastadores en ecosistemas específicos que dependen de las nubes para obtener la humedad que necesitan; a su vez, esos efectos afectarían también a otros regímenes ambientales como la cantidad y la calidad de la escorrentía superficial.

Impactos del cambio climático

Una de las consecuencias del cambio climático más visibles a nivel mundial es el aumento en el nivel del mar, provocado por los efectos combinados de la expansión térmica del agua y la entrada a los océanos de agua dulce proveniente del derretimiento de los glaciares de las montañas y de las capas de hielo. Según la amplitud del calentamiento, se estima que, para finales de siglo, el nivel del mar aumentará entre 50 y 100 cm. Si las dos capas de hielo más grandes del planeta, la Antártida y Groenlandia, se derritiesen por completo, los océanos del mundo se elevarían en más de 120 metros. Si bien las observaciones recientes indican que la dinámica de las capas de hielo es actualmente más rápida de lo previsto (particularmente en Groenlandia), no se prevé que el nivel del mar aumente con rapidez en las próximas décadas, gracias a los extremadamente largos intervalos de demora que se registran en las interacciones entre la criosfera y el clima y, sobre todo, porque se prevé que la Antártida expanda su volumen durante las próximas décadas: el clima más cálido puede provocar allí precipitaciones adicionales en forma de nieve, lo que aumentaría el volumen de hielo en ese continente.

El aumento en el nivel del mar puede constituir una de las consecuencias más importantes del cambio climático para las sociedades y economías situadas en zonas costeras bajas. Gran parte de la población mundial reside en las costas del

8 Martin Beniston, "Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts", *Climatic Change*, vol. 59, N.º 1-2, 2003, pp. 5-31.

9 Martin Beniston, *Climatic Change and Impacts: A Review Focusing on Switzerland*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht y Boston, 2004, 296 pp.

mar o cerca de ellas, a menudo en el nivel crítico de un metro por encima del nivel del mar. Así sucede en Estados insulares como las Maldivas en el Océano Índico, las Islas Marshall en el Pacífico, ciertas partes de Bangladesh en el delta del Ganges, o Indonesia, para citar tan sólo unos pocos ejemplos.

Es muy probable que los recursos hídricos experimenten crecientes presiones debido a los cambios en la temperatura y en los regímenes pluviales, pero también a causa de las heterogéneas tendencias demográficas mundiales. Los cambios climáticos significativos afectarán la demanda y la disponibilidad de agua, así como su calidad. En los países que actualmente experimentan problemas con el agua, particularmente en las regiones áridas y semiáridas, todo déficit en el suministro de agua agudizará las rivalidades en torno al uso del agua para diversas aplicaciones económicas, sociales y ambientales. En el futuro, esas rivalidades se acentuarán a causa del crecimiento demográfico, que causará aumentos en la demanda de agua para riego y posiblemente también para fines industriales, a menudo a expensas del agua necesaria para el consumo humano.

Las proyecciones de la disponibilidad anual per cápita de agua para finales de la década de 2020 indican una tendencia a la baja en todo el mundo, con inclusión de aquellos lugares que se consideran dotados de abundantes recursos hídricos¹⁰. En muchos países, los cambios en las bandas de precipitaciones representan sólo una fracción de la reducción en la disponibilidad de agua proyectada; el rápido crecimiento de la población, la urbanización y la expansión económica crean tensiones adicionales en el suministro de agua. En algunas regiones, las presiones demográficas pueden tener mayores repercusiones en la disponibilidad de agua que el propio cambio climático, mientras que en otros lugares puede suceder lo contrario. Se prevé que los peores escenarios se presenten en algunos de los países más pobres del mundo, en contextos donde el crecimiento de la población y el cambio climático se combinarán para causar una marcada reducción en la disponibilidad de agua. El problema del uso común de los cursos de agua que atraviesan fronteras internacionales, que ya es motivo de rivalidades y conflictos en muchos lugares (por ejemplo, el Nilo, el Jordán, el Tigris y el Éufrates), indudablemente se verá agravado por el cambio climático, ya que éste traerá consigo alteraciones en el balance energético entre los vecinos que viven aguas arriba y aguas abajo de una determinada cuenca hidrológica.

La seguridad alimentaria también sufre la amenaza del cambio climático, tanto en forma directa, como consecuencia de los cambios en las tendencias de la temperatura y los regímenes pluviales, como indirecta, a causa de la pérdida de tierras de cultivo debida al aumento en el nivel del mar, el aumento de la erosión eólica e hídrica, las plagas y las enfermedades. Además, los cambios en el uso de la tierra inducidos por el hombre, vinculados con la deforestación y la desertificación, ya han reducido el potencial agrícola de las tierras en muchas partes del mundo¹¹.

El sistema alimentario mundial se basa en una compleja y dinámica interacción entre los productores y los consumidores, quienes se relacionan por medio

10 S. Solomon *et al.*, nota 3 *supra*.

11 *Ibid.*

de los mercados mundiales. Aunque durante el último siglo, la productividad agrícola ha aumentado a fin de mantenerse a la par de la creciente población mundial, aproximadamente mil millones de personas siguen afectadas por la desnutrición. Además, la agricultura es, probablemente, la actividad humana más vulnerable a la variabilidad del tiempo y del clima; los principales elementos que rigen la producción agrícola son, entre otros, la temperatura, las precipitaciones, la humedad del suelo, los niveles de dióxido de carbono y las enfermedades y plagas (que también dependen en gran medida del clima). Cualquier cambio en uno o más de estos factores básicos puede tener profundos efectos no lineales en la productividad. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha advertido que, para 2020, la producción agrícola deberá casi duplicarse, en comparación con los niveles de 1990, a fin de mantenerse a la par de las tendencias demográficas y la diversificación de los hábitos de consumo¹². Es improbable que se repita la «revolución verde» del siglo XX, incluso si se tomaran en cuenta las nuevas tecnologías como la ingeniería genética, porque la competencia por la tierra y el cambio climático pueden anular en todo o en parte los progresos logrados en la productividad agrícola.

La producción agrícola se verá afectada por la severidad y el ritmo del cambio climático. Si el cambio es gradual, las instituciones políticas y sociales tendrán tiempo para adaptarse. Un cambio lento también permitirá la adaptación de las biotas naturales. Los intentos de proyectar la posible influencia del cambio climático en los cultivos se basan en muchas hipótesis no comprobadas. Además de la magnitud y el ritmo del cambio, también es importante la etapa de crecimiento durante la cual un cultivo está expuesto a la sequía o al calor. Por otra parte, las tendencias de la temperatura y de las precipitaciones estacionales varían de un año a otro y entre regiones, independientemente de las tendencias climáticas de largo plazo. Los cambios inducidos por el cambio climático en la temperatura y en las precipitaciones probablemente interactúen con los niveles de dióxido de carbono, los fertilizantes, los insectos, los agentes patógenos de las plantas, las malezas y la materia orgánica del suelo, con respuestas imprevisibles. En muchas partes del mundo, la presencia generalizada de temperaturas más elevadas y la prolongación de los períodos de calor causarán mayores niveles de estrés en determinados cultivos. Por ejemplo, el límite de estrés del maíz ronda los 35° C y las temperaturas que exceden este nivel pueden causar daños fisiológicos irreversibles a las plantas, independientemente de su duración. La zona del centro oeste de Estados Unidos, una de las principales regiones productoras de cereales en el mundo, podría ser particularmente vulnerable a los calores prolongados, lo cual daría lugar a potenciales crisis en el suministro mundial de alimentos. La sequía que asoló la región del centro oeste en 1988 causó un considerable déficit en la producción de maíz y, por primera vez desde la Segunda Guerra Mundial, Estados Unidos pasó a ser importador neto de cereales en lugar de exportador. La presencia de un clima más caluroso y seco en momentos críticos del año puede aumentar la frecuencia de la pérdida de cosechas.

12 FAO, *Estado de la Alimentación y la Agricultura*, Serie de FAO sobre la Agricultura, Roma, 2000, 329 pp.

Sin embargo, el factor que impone las mayores limitaciones al crecimiento y al rendimiento de los cultivos en todo el mundo son las precipitaciones. La presencia de un nivel adecuado de humedad es esencial para las plantas, especialmente en las etapas de la germinación y el desarrollo de los frutos. Los cambios en los regímenes pluviales también reducirán el contenido de agua del suelo. En ciertas zonas semiáridas y áridas, la humedad del suelo a menudo permite que las plantas sobrevivan a un breve período de sequía; un clima más cálido, acompañado de mayores evaporaciones, menores precipitaciones y las consiguientes reducciones en la recarga de la humedad del suelo, sería desastroso en las regiones donde la agricultura es hoy apenas viable.

Hay una amplia gama de fenómenos climáticos extremos, cuya frecuencia y severidad pueden aumentar en determinadas partes del mundo, capaces de agravar los efectos de estrés de un clima cuya temperatura media va en aumento. Las sequías, los incendios y las olas de calor integran una categoría de fenómenos extremos que hay que tener en cuenta, en tanto que las precipitaciones abundantes y el granizo componen otra categoría que puede afectar adversamente la producción agrícola. En las regiones más frías, estos fenómenos pueden verse compensados, hasta cierto punto, por la menor frecuencia de las heladas de primavera, que a menudo dañan las plantas en la etapa inicial de su ciclo de crecimiento.

La vulnerabilidad a los factores climáticos es menor en las regiones donde la agricultura está bien adaptada a la actual variabilidad climática o donde los factores institucionales y de mercado permiten la redistribución de los excedentes agrícolas para compensar las disminuciones en la producción. A fin de planificar para el futuro y reducir los impactos del cambio climático en la agricultura, es aconsejable implementar opciones de política agrícola de largo plazo y, a la vez, encarar otras preocupaciones, como la erosión, la pérdida de capa arable, la salinización y la contaminación del suelo y del agua. Además, sería conveniente introducir mejores prácticas de gestión del agua y de riego, a fin de ayudar a reducir los efectos adversos de las sequías y de las olas de calor, puesto que, en el contexto del clima mundial más cálido, estos fenómenos son susceptibles de aumentar.

Es difícil pronosticar los posibles efectos del cambio climático en un tercer factor determinante para el bienestar humano, esto es, la salud humana, porque las poblaciones exhiben diferentes vulnerabilidades al cambio y a la susceptibilidad a las enfermedades. Estas vulnerabilidades dependen de los niveles generales de las prácticas de higiene, de la vestimenta y de la vivienda, así como de las tradiciones en materia de atención de la salud y de agricultura. La adaptación a la propagación de las enfermedades es determinada por el nivel económico de una población determinada, la cobertura y el alcance de los servicios médicos y la integridad del medio ambiente¹³. Así pues, los factores biológicos y psicológicos humanos constituyen determinantes primarios, pero los sistemas ecológicos y mundiales también tienen su peso, como lo tienen la economía y el acceso a la atención médica, que

13 Anthony J. McMichael y R. Sari Kovats, "Climate change and climate variability: adaptations to reduce adverse climate change impacts", *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 61, n.º 1, 2000, pp. 49-64.

influyen en la vulnerabilidad de las sociedades a las enfermedades. Los cambios en las condiciones del medio ambiente interactúan con la biología de los agentes patógenos y pueden causar efectos profundos. Los cambios en la forma de usar la tierra afectan la distribución de los agentes portadores de enfermedades, como los roedores y los insectos, en tanto que el clima influye en su alcance y afecta la intensidad de los brotes y el momento en que éstos se producen. Los cambios en las condiciones sociales, por ejemplo el crecimiento de las ciudades con muchos millones de habitantes en el mundo en desarrollo y el cambio ecológico generalizado, ya están contribuyendo a la propagación de enfermedades infecciosas.

La incidencia de las enfermedades de transmisión vectorial, como la malaria, es determinada por la abundancia de vectores y de huéspedes intermedios y huéspedes reservorios; por la prevalencia de parásitos que causan enfermedades y de patógenos adecuadamente adaptados a los vectores; y por los huéspedes humanos o animales y su resistencia a la enfermedad¹⁴. Las condiciones climáticas locales, en particular la temperatura y la humedad, también constituyen factores determinantes en el establecimiento y la reproducción del mosquito *Anopheles*¹⁵. Por estas razones, resulta pertinente referirse al posible desarrollo de la enfermedad en regiones montañosas, porque las poblaciones residentes en tierras altas, donde la enfermedad actualmente no es endémica, pueden llegar a afrontar nuevas amenazas a su salud y bienestar a medida que la malaria gradualmente invada nuevas regiones en condiciones climáticas que propicien su desarrollo¹⁶.

Las enfermedades transmitidas por vectores se encuentran presentes en amplias regiones, desde los trópicos y subtropicos hasta las zonas de clima templado. Con pocas excepciones, esas enfermedades no se presentan en los climas fríos del mundo y no existen por encima de ciertas altitudes, ni siquiera en las zonas montañosas del cinturón tropical y ecuatorial¹⁷. A elevaciones superiores a los 1.300-1.500 metros en África y Asia tropical, el mosquito *Anopheles* en la actualidad no puede ni reproducirse ni sobrevivir; por ello, prácticamente no se registran casos de malaria en muchas tierras altas de la zona tropical¹⁸.

Para sobrevivir y reproducirse, los vectores requieren ecosistemas específicos que están sujetos a la influencia de numerosos factores, muchos de los cuales son controlados por el clima. El cambio de uno o más de esos factores afectará la supervivencia y, por ende, la distribución de los vectores¹⁹. Por estas razones, el cambio climático proyectado puede tener considerables repercusiones

14 Anthony J. McMichael y Andrew Haines, "Global climate change: the potential effects on health", *British Medical Journal*, vol. 315, n.º 7111, 1997, pp. 805-809.

15 Paul R. Epstein *et al.*, "Biological and physical signs of climate change: focus on mosquito-borne diseases", *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 79, n.º 3, marzo de 1998, pp. 409-417

16 Pim Martens *et al.*, "Climate change and future populations at risk of malaria", *Global Environmental Change*, vol. 9, suplemento 1, 1999, pp. 89-107.

17 Organización Mundial de la Salud (OMS), *Informe sobre la Salud en el Mundo 1999*, OMS, Ginebra, 1999, 121 pp.

18 Marlies H. Craig, R.W. Snow y David LeSueur, "A climate-based distribution model of malaria transmission in Africa", *Parasitology Today*, vol. 15, n.º 3, 1999, pp. 105-111.

19 Brian H. Kay *et al.*, "Rearing temperature influences flavivirus vector competence of mosquitoes", *Medical and Veterinary Entomology*, vol. 3, n.º 4, 1989, pp. 415-422.

en la distribución de las enfermedades de transmisión vectorial. El cambio permanente de uno de los factores abióticos puede alterar el equilibrio del ecosistema y crear hábitats más o menos favorables para los vectores. Teniendo en cuenta los actuales límites de la distribución de los vectores, el incremento previsto en la temperatura media es susceptible de crear condiciones más favorables, tanto en términos de latitud como de altitud, para los vectores, que podrán entonces reproducirse en mayores números e invadir tierras anteriormente inhóspitas para ellos.

El índice de infección de la malaria es función exponencial de la temperatura²⁰. Los pequeños aumentos de temperatura pueden ocasionar una brusca disminución en el número de días de incubación. Por consiguiente, las regiones situadas a altitudes o latitudes más elevadas pueden transformarse en zonas propicias para los vectores; las tierras altas libres de enfermedades que hoy existen en partes de Etiopía y Kenia, por ejemplo, pueden verse invadidas por los vectores a resultas del incremento en la temperatura anual. Esto traería consigo un considerable aumento en el número de personas infectadas por la malaria.

La respuesta de la malaria a los cambios climáticos puede observarse en la intensificación de la enfermedad que se registra en Colombia durante los episodios de la corriente del Niño, cuando las temperaturas aumentan y las precipitaciones disminuyen en comparación con las condiciones normales²¹. Estas vinculaciones entre los cambios abruptos pero significativos en el clima y el ciclo anual de desarrollo y transmisión de la malaria pueden ayudarnos a comprender mejor las relaciones entre los factores ambientales y epidemiológicos, tanto en el corto plazo (Oscilación del Sur - El Niño o ciclo ENSO, por sus siglas en inglés) como en el largo plazo (cambio climático).

Aunque frecuentemente se menciona a África en relación con la incidencia de la malaria, no es el único continente afectado por el aumento de las enfermedades de transmisión vectorial; en ciertos países donde la enfermedad se había erradicado en el curso del siglo XX, están reapareciendo cepas particulares de malaria. Según información procedente de lugares con altitudes entre bajas y medianas, en Turquía, Oriente Próximo y Asia central, la malaria está afectando a las poblaciones rurales²².

A menudo, resulta difícil asociar un cambio particular en la incidencia de una enfermedad particular con un cambio determinado en un único factor ambiental. Los riesgos de salud vinculados con el medio ambiente deben situarse en el contexto de la población y relacionarse con factores como la edad, el nivel de higiene, el nivel social y económico, y las condiciones de salud²³. Estos fenómenos pueden estimular la migración de una región rural a otra y de zonas rurales a urbanas

20 Informe de la OMS, nota 17 *supra*.

21 Germán Poveda *et al.*, "Coupling between annual and ENSO timescales in the malaria-climate association in Colombia", *Environmental Health Perspective*, vol. 109, n.º 5, 2001, pp. 489-493.

22 M.L. Wilson *et al.*, *Vector-borne Disease Associated with Irrigation, Agriculture, and Environmental Change in Southeastern Turkey: Application of Satellite Image Analysis*, Informe del Centro Médico Yale-New Haven, 2001.

23 A.J. McMichael y R.S. Kovats, nota 13 *supra*.

y, por ende, contribuir a la propagación de la enfermedad²⁴. Además, si el cambio climático se viera acompañado de un aumento en la intensidad de ciertas formas de riesgos naturales, como ciclones, inundaciones o sequías, éstos agravarían los efectos en la salud humana. Por otra parte, esas catástrofes son susceptibles de generar grandes movimientos de refugiados y de población, que necesitan reasentarse en zonas que a menudo ya están densamente pobladas²⁵.

Conclusiones

Las proyecciones del crecimiento demográfico, la creciente presión sobre los recursos y las persistentes desigualdades en el acceso a los recursos en las décadas por venir indican que muchas regiones sensibles desde el punto de vista ambiental se verán afectadas por la escasez en una escala y con una severidad y rapidez inéditas en la historia, principalmente a causa del acelerado cambio climático. Muchos países carecen de las instituciones sociales imprescindibles para proporcionar las soluciones sociales y técnicas que se necesitan para hacer frente a los problemas que plantea la escasez. El desplazamiento de la población en respuesta a un estrés externo significativo suele indicar el colapso de la capacidad de adaptación de la sociedad. Por ejemplo, en el contexto de la seguridad alimentaria, el desplazamiento y las estrategias de adaptación constituyen una manifestación extrema de la vulnerabilidad. Las estrategias de adaptación por lo general representan adaptaciones de corto plazo a fenómenos extremos; habitualmente son involuntarias y raras veces ayudan a reducir la vulnerabilidad de una población a futuras situaciones de hambruna.

La disminución de los recursos en un contexto político, económico y social incierto puede generar situaciones de conflicto y de inestabilidad, pero los mecanismos causales suelen ser indirectos. La escasez de tierras cultivables, de agua potable y de bosques limita la productividad agrícola y económica. Estas situaciones pueden causar movimientos de población²⁶. En casos extremos, contribuyen a conflictos locales o regionales, que pueden agudizarse con el paso del tiempo, a medida que se agravan las dificultades ambientales. Si bien esos conflictos internos motivados por los recursos tal vez no sean tan conspicuos como las guerras de nivel internacional, pueden causar importantes repercusiones en los intereses de seguridad tanto en los países en desarrollo como en los industrializados, dado que pueden afectar las relaciones comerciales internacionales, causar desastres humanitarios y generar crecientes corrientes de refugiados²⁷.

Con respecto a las complejas cuestiones que pueden provocar migraciones de población en el siglo XXI, será cada vez más necesario distinguir entre las migraciones voluntarias y las forzadas. Las migraciones voluntarias pueden ocurrir por diferentes razones, en particular económicas y políticas o ideológicas. Por otra

24 Norman Myers, "Environmental refugees in a globally warmed world", *BioScience*, vol. 43, n.º 11, 1993, pp. 752-761.

25 A.R. Pebley, nota 1 *supra*.

26 N. Myers, nota 24 *supra*.

27 Michael J.G. Parnwell, *Population Movements and the Third World*, Routledge, Londres, 1993, 194 pp.

parte, las migraciones forzadas tienen varias causas profundas que también radican en las esferas de la política y la economía, en particular la guerra y los conflictos étnicos. En este contexto, puede considerarse que los factores ambientales que provocan la migración son consecuencia indirecta de las decisiones adoptadas en el ámbito político y/o económico. Mientras que el aumento en el nivel del mar es un factor ambiental obvio, que puede afectar severamente a muchas regiones costeras bajas del mundo y provocar migraciones, es consecuencia del calentamiento global, el cual es, a su vez, en parte, resultado de políticas económicas e industriales que incrementan la emisión de gases de invernadero.

Como conclusión, habrá numerosas causas profundas interrelacionadas, desde la política y la economía hasta los trascendentes cambios en el medio ambiente (el aumento en el nivel del mar, la deforestación, la degradación de los suelos y el cambio climático) que pueden causar fuertes impactos en los principales factores determinantes de la supervivencia humana: el agua, los alimentos y la salud humana. La medida en que la menor disponibilidad de agua y las mermas en la producción agrícola o los cambios en las tendencias de las enfermedades pueden realmente forzar migraciones masivas hacia el exterior de los países afectados es una cuestión abierta a debate. Hace ya casi veinte años, Myers predijo que una de las consecuencias directas del «mundo de invernadero» del siglo XXI podría ser la existencia de unos 150 millones de «refugiados del medio ambiente»²⁸. No existe certeza alguna acerca de esta cifra y es posible que sea exagerada. Sin embargo, ayuda a crear conciencia acerca de estas cuestiones y a estimular el pensamiento y la acción a fin de prepararse, tanto desde el punto de vista institucional como jurídico, para la llegada de refugiados en números mucho mayores que los registrados hasta ahora.

28 N. Myers, nota 24 *supra*.

