



CAMBIO CLIMÁTICO



AMPARO MARTÍNEZ ARROYO
COORDINADORA

U

DESARROLLAR LA CAPACIDAD DE
PREVENCIÓN Y ADAPTACIÓN A LOS
EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO ➔

MÉXICO 2013

AGENDA CIUDADANA DE CIENCIA,
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

CAMBIO CLIMÁTICO



Agradecimientos:

La *Agenda Ciudadana de Ciencia, Tecnología e Innovación* fue posible gracias al generoso trabajo de miles de personas, a quienes dedicamos la presente serie de libros.

La coordinación general de la *Agenda Ciudadana* agradece a todas las instituciones involucradas en el proyecto; en especial, a las comisiones de Ciencia y Tecnología y de Educación de la LXI y LXII Legislatura de la Cámara de Senadores, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el financiamiento otorgado, y a la Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM por el trabajo editorial realizado.

Asimismo, los editores de esta serie de libros agradecemos el apoyo que otorgaron los siguientes especialistas al revisar y dar su opinión sobre los contenidos: Luis Aboites Aguilar, Francisco Alba Hernández, Pablo Álvarez Watkins, Rodolfo Corona Vázquez, Arturo Curiel Ballesteros, Manuel Gil Antón, María de Ibarrola Nicolín, Francisco A. Larqué Saavedra, Polioptro Martínez Austria, Blanca Emma Mendoza Ortega, Pablo Mulás del Pozo, Guillermina Natera Rey, Julio Everardo Sotelo Morales.

Coordinación general: José Franco

Coordinación editorial: Rosanela Álvarez

Asistente editorial: Paula Buzo Zarzosa

Corrección de textos: Kenia Salgado y Héctor Siever

Diseño y formación: Miguel Marín y Elizabeth García

Cambio climático

Primera edición, 2013.

D. R. © Academia Mexicana de Ciencias, A. C.

Casa Tlalpan, km 23.5 de la Carretera Federal México-Cuernavaca s/n,
Col. San Andrés Totoltepec, Del. Tlalpan, C. P. 14400, México, D. F.

ISBN: 978-607-95166-7-3

CAMBIO CLIMÁTICO

COORDINADORA

AMPARO MARTÍNEZ ARROYO
INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO (INECC)
CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA, UNAM

COLABORADORES

BENJAMÍN MARTÍNEZ LÓPEZ
TELMA CASTRO ROMERO
FRANCISCO ESTRADA PORRÚA
CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA, UNAM



CONTENIDO

7

PRESENTACIÓN

11

RESUMEN EJECUTIVO

13

CAPÍTULO 1
DIAGNÓSTICO

19

CAPÍTULO 2
LA CIENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO

25

CAPÍTULO 3
PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

31

CAPÍTULO 4
PROPUESTAS DE POLÍTICAS PÚBLICAS
Y SOLUCIONES IDENTIFICADAS

43

CAPÍTULO 5
ESTIMADO PRESUPUESTAL

45

GLOSARIO

48

BIBLIOGRAFÍA

PRESENTACIÓN

La construcción de una sociedad democrática y con desarrollo sustentable requiere que ciencia, tecnología e innovación formen parte medular de la agenda nacional y que la ciudadanía conozca los avances en la generación y aplicación del conocimiento. Para lograrlo, es necesario ubicar estos conocimientos como parte de la cultura y como un instrumento imprescindible en la toma de decisiones y en la construcción de políticas públicas, especialmente aquellas encaminadas a combatir los grandes problemas nacionales, incluyendo a la desigualdad social y la pobreza.

La *Agenda Ciudadana de Ciencia, Tecnología e Innovación* ha sido un ejercicio de participación ciudadana y comunicación de la ciencia que, además de elevar la cultura científica, busca conocer la opinión de la población sobre los principales retos que enfrenta el país y ante los cuales ciencia, tecnología e innovación pueden y deben actuar. Es la primera consulta de este tipo que se realiza en México.

Esta iniciativa explora nuevas formas de diálogo entre científicos, ciudadanía y tomadores de decisiones y representa un avance significativo en el camino que México emprende hacia una sociedad basada en el conocimiento.

La *Agenda Ciudadana* constituye una búsqueda hacia la reflexión conjunta con la sociedad y la posibilidad de que ésta se vincule y establezca una nueva relación con la política nacional y las instituciones. La participación de más de 200 instituciones públicas y de la sociedad civil, así como de más de 70 medios de comunicación, permitió que este proyecto acercara el trabajo de los investigadores a la sociedad.

La selección de los temas de la consulta se hizo considerando el amplio abanico de problemas y necesidades de nuestro país y tomando en consideración las capacidades ya existentes, tanto humanas como de infraestructura. La lista inicial de temas era muy extensa. Sin embargo, se seleccionaron diez retos que incluyen problemas que están en la agenda global. Éstos son:

- **Agua.** Asegurar el abasto de agua potable para toda la población.
- **Cambio climático.** Desarrollar la capacidad de prevención y adaptación a los efectos del cambio climático.

- **Educación.** Modernizar el sistema educativo con enfoque humanístico, científico y tecnológico.
- **Energía.** Contar con un sistema de energía limpio, sustentable, eficiente y de bajo costo.
- **Investigación espacial.** Desarrollar una industria aeroespacial mexicana competitiva y con resultados de interés para la sociedad.
- **Medio ambiente.** Recuperar y conservar el medio ambiente para mejorar nuestra calidad de vida.
- **Migración.** Construir una sociedad informada sobre la diversidad migratoria y sensibilizada con los derechos de los migrantes.
- **Salud mental y adicciones.** Integrar la atención de la salud mental y adicciones a la salud pública.
- **Salud pública.** Conformar un sistema integral de salud de alta calidad para toda la población.
- **Seguridad alimentaria.** Lograr un campo más productivo y alcanzar la seguridad alimentaria.

Seis de los temas elegidos para la *Agenda Ciudadana* son relevantes a nivel global y coinciden con los tópicos recientemente definidos como prioritarios por la Red Mundial de Academias de Ciencias (IAP) en su asamblea general, realizada en marzo de 2013 en Río de Janeiro, Brasil. Estos temas son: agua, cambio climático, medio ambiente, ciencias de la educación, energía, salud y seguridad alimentaria. Lo anterior significa que, más allá de su importancia nacional, los retos seleccionados forman parte de las preocupaciones a nivel mundial.

En la primera consulta realizada en nuestro país participaron más de 150 000 personas, en el periodo del 7 de noviembre de 2012 al 30 de enero de 2013. Este ejercicio se realizó a nivel nacional, lo que permitió obtener un sondeo en las 32 entidades de la República Mexicana.

Como parte de las reflexiones generadas durante este ejercicio, se creó una serie de diez libros que examinan y proponen posibles soluciones a los problemas planteados. La elaboración de los títulos estuvo a cargo de equipos conformados por expertos en cada uno de los temas y fueron revisados por especialistas externos a los equipos de autores, quienes aportaron su valiosa opinión sobre los contenidos de los libros.

Cada volumen presenta un resumen ejecutivo donde se identifican los principales aspectos de cada uno de los retos considerados en la *Agenda Ciudadana*. Los autores realizaron un análisis y diagnóstico de la situación actual de los problemas abordados.

Finalmente, se discuten alternativas de solución y propuestas para la construcción de políticas públicas, considerando un estimado presupuestal, con la intención de ofrecer una guía que resulte útil a los tomadores de decisiones encargados de dar solución a los retos de la agenda nacional.

México vive una etapa de transición en la que el fortalecimiento de las capacidades científicas, tecnológicas y de innovación debe jugar un papel decisivo para impulsar la competitividad en todos los sectores, el desarrollo económico y el bienestar de la población. En este tránsito es importante crear canales de diálogo y concertación entre los distintos actores sociales.

La participación ciudadana debe ocupar un lugar destacado en la identificación de las problemáticas que necesitan ser atendidas. La *Agenda Ciudadana* constituye una posibilidad para la apropiación del conocimiento científico por parte de la sociedad, así como el punto de partida para la elaboración de nuevas políticas públicas sobre ciencia, tecnología e innovación en nuestro país. ©

Francisco Bolívar Zapata
*Coordinador de Ciencia, Tecnología e Innovación
de la Oficina de la Presidencia*

Enrique Cabrero
*Director del Consejo Nacional de Ciencia
y Tecnología (Conacyt)*

Roberto Escalante
*Secretario General de la Unión de Universidades
de América Latina y el Caribe (UDUAL)*

Rubén Félix Hays
*Presidente de la Comisión de Ciencia y Tecnología
de la LXII Legislatura de la Cámara de Diputados*

José Franco
Presidente de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC)

Alejandro Tello
*Presidente de la Comisión de Ciencia y Tecnología
de la LXII Legislatura de la Cámara de Senadores*

RESUMEN EJECUTIVO

A lo largo de la historia de la Tierra el clima ha cambiado como reflejo de las complejas interacciones e interdependencias entre el Sol, la atmósfera, los océanos, la superficie terrestre y los seres vivos que constituyen el sistema climático. El proceso reciente de calentamiento global que experimenta nuestro planeta ha podido ser identificado y entendido en sus aspectos básicos gracias a un cúmulo de evidencias y conocimientos obtenidos desde distintos campos de la ciencia a nivel internacional.

Los cambios observados en la atmósfera, particularmente durante los últimos 60 años, presentan características que no se explican sólo considerando causas naturales, sino que tienen una influencia reconocible, e inequívoca, de la actividad humana.

El problema que enfrentamos en esta ocasión es que algunos de los cambios están ocurriendo con mayor rapidez que en los anteriores 400 000 años, terminando con un periodo de relativa estabilidad climática global que permitió el desarrollo de la sociedad humana durante los últimos 10 000 años.

Las proyecciones del clima para las próximas décadas sugieren que éste tendrá un impacto significativo sobre los recursos que están estrechamente relacionados con el bienestar humano de una manera que podría reducir considerablemente las perspectivas de crecimiento económico de los países en desarrollo.

En algunos casos, los efectos negativos en numerosas especies, ecosistemas, actividades humanas e infraestructura se alcanzarán aunque logremos frenar esta tendencia, por lo que las tareas de conocer y reducir nuestra vulnerabilidad a dichos impactos y desarrollar alternativas de adaptación a nuevas condiciones son fundamentales para la ciencia, la sociedad y los gobiernos a todos los niveles.

El cambio climático es sin duda el problema ambiental más relevante de este siglo, porque viene a sumarse, potenciándolos, a los problemas ambientales, energéticos, económicos y ético-sociales que ya se manifestaban en el mundo. Las consecuencias, sin embargo, no serán las mismas para todos los países, independientemente de cuál haya sido su contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero. Si bien ahora no sabemos en qué sentido serán muchos de los cambios en las diferentes regiones, podemos adelantar que habrá países cuyas condiciones naturales (como su ubicación

geográfica), o de desarrollo científico, tecnológico, socioeconómico y educativo, les permitirán estar mejor preparados para adaptarse a nuevas condiciones.

México, a pesar de sus inmensos recursos naturales y humanos, es un país muy vulnerable a los distintos impactos del cambio climático, ya que además de tener un ambiente natural y social deteriorado, tiene zonas de riesgo susceptibles a elevación del nivel del mar, sequías, inundaciones, pérdida de biodiversidad de especies y de hábitats, empobrecimiento de suelos, aumento en la contaminación de agua, aire y suelo, y olas de calor, entre otros problemas. Frente a ello, preocupa el poco desarrollo científico y tecnológico en el tema, la carencia de un monitoreo científico y coordinado del territorio (terrestre y marino), la insuficiente infraestructura de salud pública y de protección civil, la planeación urbana deficiente y de corto plazo; la inseguridad alimentaria y la falta de cultura de la prevención que conlleva a una alta aceptación social del riesgo, entre muchos otros factores de vulnerabilidad. Es evidente que toda esta problemática no sólo concierne a científicos y gobiernos, sino que requiere de un compromiso informado y activo de toda la sociedad.

Ante una coyuntura global plena de retos e incertidumbres, la urgencia planteada por muchos de los impactos predecibles en el corto plazo en nuestro país, como un aumento en la frecuencia de eventos climáticos extremos, puede representar una oportunidad para replantear nuestras formas de desarrollo social, económico y tecnológico; para emprender esfuerzos de restauración ecológica y cambiar nuestra forma de relación con la naturaleza; para cambiar patrones de consumo derrochadores de energía y generadores de desechos no reciclables, y causantes, además, de innumerables problemas de salud.

Para todo ello, sin embargo, no es suficiente con decretar acciones y tener buena voluntad: se requieren, más que nunca, estrategias de acción basadas en el desarrollo de conocimientos, en la información y educación de la población a todos los niveles. El impulso a la investigación del cambio climático en nuestro país (bases científicas, impactos, mitigación y adaptación) fortalecerá el desarrollo de numerosas disciplinas científicas y tecnológicas y será un coadyuvante para ordenar la vida pública de acuerdo con horizontes de bienestar colectivo de largo plazo, asumiendo acciones responsables con el ambiente y con el clima a nivel local, regional y global. ☉

DIAGNÓSTICO

En las últimas décadas hemos sido testigos de la ocurrencia de una gran variedad de fenómenos hidrometeorológicos en nuestro país. Temas como el impacto de los huracanes, tanto en el Océano Pacífico como en el Atlántico, las ondas extremas de calor y frío, las sequías severas y las lluvias torrenciales, granizadas inusuales, inundaciones y hasta tornados, han acaparado la atención de los medios de comunicación y de los ciudadanos. Lo mismo ha ocurrido prácticamente en todos los países o regiones del mundo, con climas y condiciones naturales y socioeconómicas muy diferentes a las nuestras, llevando a la pregunta de si en realidad hay un proceso global detrás de estas anomalías o se trata sólo de eventos extremos aislados.

La respuesta, según los estudiosos del tema que laboran en los principales centros de investigación climática en el mundo, es que la observación sistemática y global de variables como las temperaturas del aire y de los océanos indica claramente que la Tierra se está calentando, cambiando los patrones climáticos conocidos y alterando sistemas físicos, biológicos y sociales de maneras que aún no somos capaces de predecir (IPCC, 2001; IPCC, 2007).

El aumento en la temperatura global es la respuesta a una perturbación severa al complejo sistema de funcionamiento de nuestro planeta, que se manifiesta en una escala de tiempo que pone en riesgo a las sociedades humanas y a muchas de las especies y ecosistemas que conocemos. El conocimiento y la comprensión de los procesos que rigen el clima planetario pueden contribuir a encontrar salidas a una situación que en gran medida se ha ido construyendo por nuestra ignorancia.

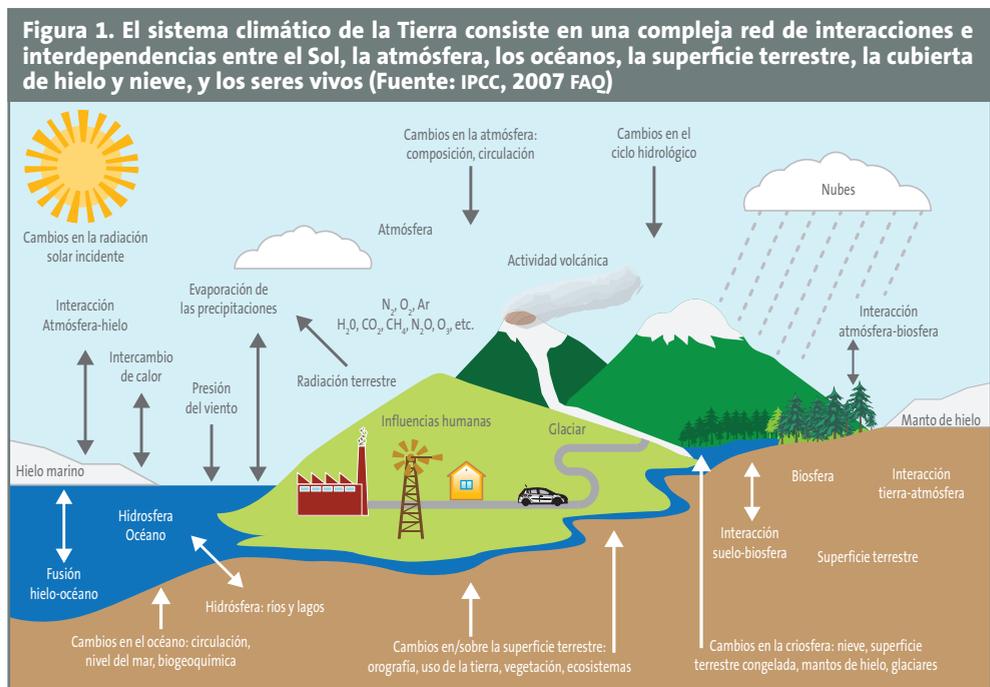
¿Qué es el clima, cómo funciona y cuáles son los mecanismos de cambio?

El *clima* es una descripción del comportamiento promedio (o típico) de la atmósfera y de sus variaciones, durante un lapso de tiempo suficientemente largo para que sea representativo. La Organización Meteorológica Mundial considera que debe ser un mínimo de 30 años. Las principales variables que se miden para describir el clima incluyen temperatura, presión atmosférica, humedad, precipitación (lluvias), vientos, cantidad de energía solar recibida, así como los rangos de sus variaciones estacionales o periódicas y los eventos extremos que pueden presentarse.

Las condiciones presentes de las variables de la atmósfera (por ejemplo, temperatura y precipitación) en un momento y lugar determinado constituyen el *estado del tiempo*. El *clima* y el *estado del tiempo* son el resultado de la interacción entre los elementos del sistema climático (Figura 1), pero el *estado del tiempo* se observa en lapsos de tiempo de minutos a días y presenta desviaciones respecto a las condiciones medias que se esperan de

acuerdo con el *clima* del lugar. El *clima*, a su vez, se define después de años de observación del *estado del tiempo* y de su variabilidad.

De acuerdo con el IPCC (2007), el *cambio climático* es un cambio en el estado del *clima*, que puede ser identificado estadísticamente por cambios en la media o en la variabilidad de sus propiedades y que persiste por un periodo extenso, típicamente décadas o más.



A lo largo de la historia de nuestro planeta el clima ha cambiado a nivel global, regional y local por causas naturales, influido por la propia dinámica interna del sistema climático y debido a forzamientos externos naturales como las erupciones volcánicas y las variaciones en la actividad solar; pero más recientemente, debido a forzamientos inducidos por las actividades de las poblaciones humanas, como

cambios en la composición atmosférica o en el uso del suelo.

Los ciclos globales de enfriamiento (glaciaciones) que se han dado cada cien mil años, por lo menos durante el último millón de años, seguidos de breves periodos de calentamiento, parecen asociados a cambios periódicos en la órbita terrestre que alteran la intensidad de la energía solar que recibe el planeta. La última

glaciación terminó hace más de diez mil años y ahora nos encontramos en un periodo interglacial.

El Sol es la principal fuente de energía de nuestro planeta y es la base de todo su funcionamiento. Debido a su forma redonda, a la inclinación de su eje de rotación y a la órbita elíptica que sigue alrededor del Sol, la Tierra no recibe la misma cantidad de radiación en toda su superficie, ni a lo largo del año. La mayor parte de la energía solar llega a la zona media (el Ecuador y toda la llamada zona tropical), desde donde la acción combinada de la atmósfera y los océanos (vientos y corrientes marinas, básicamente) distribuye el exceso de energía hacia los polos. Los distintos climas que existen en el mundo y las diferentes estaciones del año (incluyendo el hecho de que el hemisferio norte y el hemisferio sur no tengan las mismas estaciones al mismo tiempo) se derivan también de la inclinación mencionada del eje de rotación y de la diferente distancia al Sol que tienen la Tierra y sus hemisferios en cada momento del año. No toda la radiación del Sol que llega a la parte externa de la Tierra alcanza su superficie, ya que la nieve, el hielo, las nubes altas y otras partes de la superficie terrestre reflejan la energía nuevamente hacia el espacio impidiéndole entrar. Es por eso que la disminución de las zonas cubiertas de hielo y nieve propicia una mayor entrada de radiación.

La Tierra absorbe energía solar y emite radiación infrarroja; si absorbe más energía de la que irradia, se calienta, y si es al contrario se enfría. El equilibrio entre la energía absorbida e irradiada determi-

na la temperatura promedio del planeta. Un forzante positivo tiende a calentar el sistema, mientras que uno negativo lo enfría (más energía perdida que recibida).

La composición de la atmósfera es clave para el balance radiativo no sólo en nuestro planeta, sino en otros que cuentan con atmósfera dentro del Sistema Solar. En términos físicos, de acuerdo con su tamaño, masa y distancia al Sol, la Tierra debería de tener una temperatura promedio de -18°C .

Gracias a la capacidad de absorción, principalmente del vapor de agua, pero también de gases como el bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), ozono (O_3) y óxidos de nitrógeno (NO_x) que se encuentran en pequeñísimas cantidades en nuestra atmósfera, se da el llamado efecto invernadero, en el cual gran parte de la energía saliente es capturada por la atmósfera y regresada a la superficie terrestre, modulando la pérdida de calor y conservando una temperatura en la superficie terrestre de alrededor de 15°C . Esto es, los gases de efecto invernadero son los responsables de esos 33°C más que han hecho a la Tierra un planeta que puede contener agua en sus tres estados y desarrollar la vida tal y como la conocemos.

Si bien el clima de la Tierra ha cambiado continuamente a lo largo de sus 4.6 mil millones de años, el cambio global que experimentamos ahora tiene que ver con cambios en la composición de la atmósfera ocurridos durante los últimos doscientos años, y marcadamente los últimos sesenta, en los que ya tenemos muchas más herramientas de medición para constatarlo.

¿Podemos los seres humanos modificar la composición atmosférica y el clima?

En primer lugar es importante recordar que la atmósfera está estructurada verticalmente por capas. La capa más cercana a la superficie de la Tierra se denomina troposfera, y va desde el nivel del mar hasta entre 12 y 17 km de altura. Contiene alrededor de 80% de la masa de toda la atmósfera y 99% del agua y aerosoles. Es a esta capa, en la que existe el clima y en la que se desarrolla la vida, a la que nos referimos al hablar del cambio climático.

La composición actual de la atmósfera ha permanecido estable durante millones de años gracias a que sus principales componentes no son reactivos ni tienen actividad forzante (78% nitrógeno, 21% oxígeno, 0.9% argón, en atmósfera seca; el vapor de agua varía mucho en tiempo y espacio); sin embargo, la pequeña fracción compuesta por los gases traza activos radiativamente (principalmente CO_2 , con alrededor de 0.03% y en menores cantidades CH_4 , O_3 y NO_x) son la componente atmosférica variable que influye en el balance radiativo.

Los niveles de bióxido de carbono en la atmósfera se habían mantenido entre 180 y 300 ppm durante los últimos 500 000 años. Al inicio de la era industrial su concentración era de 280 ppm; la concentración actual de CO_2 está por arriba de 390 ppm. En los ocho mil años anteriores a 1750 aumentó sólo en 20 ppm. La quema de combustibles fósiles (gasolinas, carbón y gas) y la producción de cemento son responsables de 75% de las emisiones que han cambiado dicha concentración.

En el mismo periodo, el metano (CH_4) ha crecido 151% debido principalmente a actividades agrícolas como el cultivo de

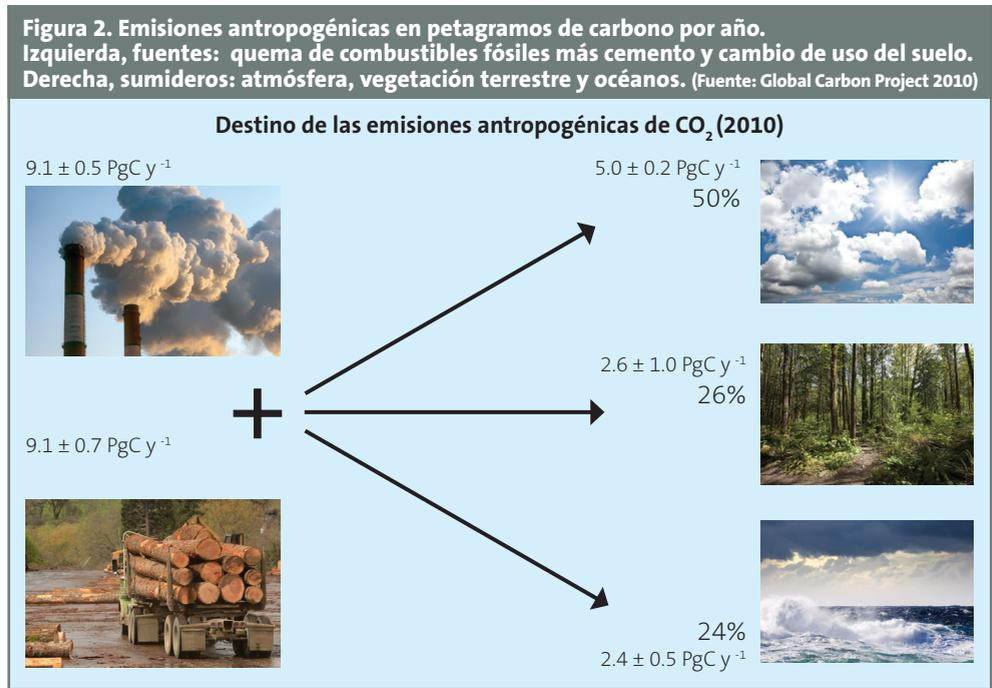
arroz, las emisiones del ganado y las provenientes de la aglomeración de residuos domésticos. La segunda fuente más importante de gases invernadero es la deforestación y los cambios en el uso de suelo (aproximadamente 25% del total de las emisiones).

Las partículas de aerosol también influyen fuertemente en el clima, pues afectan la transferencia de radiación y el balance radiativo del sistema Tierra-atmósfera. El carbono negro (CN), por ejemplo, absorbe grandes cantidades de luz solar y opera como un núcleo de condensación de nubes que cambia las propiedades de las gotas y disminuye la precipitación. Sin embargo, los aerosoles también provocan un enfriamiento en la atmósfera, ya que muchos reflejan la luz solar hacia al espacio y evitan que llegue a la superficie terrestre. La magnitud de este fenómeno depende del tamaño y de la composición de las partículas de aerosol, así como de sus propiedades ópticas. Se piensa que el enfriamiento provocado por aerosoles podría disminuir el calentamiento provocado por emisiones de CO_2 , pero tienen un efecto nocivo en la calidad del aire. Los aerosoles son forzantes negativos si tienen efectos en reflexión de radiación o en formación de nubes, pero positivos (que contribuyen al calentamiento) si se encuentran como hollín o partículas con alto contenido de carbono negro.

Los contaminantes atmosféricos en general, además de tener un impacto directo en la calidad del aire, pueden ser también agentes importantes en el forzamiento radiativo. Los gases y partículas contaminantes absorben o dispersan radiación solar, alteran la meteorología regional y modifican la química de la atmósfera. Capítulo aparte merecerían com-

puestos como los clorofluorocarbonos, que no existían en la naturaleza hasta que se fabricaron para la industria de refrigerantes y los cuales se descubrió que migraban a la estratosfera (a unos 40 km de la superficie), en donde contribuyen activamente a la destrucción de las moléculas que constituyen la capa de ozono. Son esos forzantes los que los seres humanos hemos incrementado en un volumen y a una velocidad que ha impedido que se absorban naturalmente por el sistema climático.

El hecho de que se hubiera mantenido relativamente estable la concentración de estos compuestos durante miles de años indica que las emisiones naturales estaban siendo compensadas por absorciones naturales. La actividad humana, además de destruir muchos de los sumideros o captadores naturales de carbono, con la quema masiva de combustibles fósiles ha inyectado más bióxido de carbono a la atmósfera que el que puede absorberse naturalmente en la escala de tiempo de



las sociedades humanas, por lo que frenar drásticamente su emisión es una de las acciones indispensables en cualquier estrategia frente al cambio climático.

Hasta principios de este siglo los países más industrializados eran los responsables de la mayor parte de las emisiones generadas por quema de combustibles fósiles y producción de cemento, y los

países en desarrollo de la mayor parte (al menos durante los últimos 50 años) de las producidas por cambios en el uso del suelo. En años recientes China y la India se han sumado al primer grupo en términos de volumen total emitido, pero en emisiones per cápita siguen siendo los países industrializados, con Estados Unidos a la cabeza, los mayores emisores.

Clima, cambio climático y sociedad

El clima y el estado del tiempo tienen un impacto considerable en una amplia gama de actividades económicas. La lista de sectores que están sujetos a riesgos climáticos es enorme, incluyendo la energía, la agricultura, el agua, la salud, la biodiversidad, el turismo, la pesca y la industria de la construcción, por mencionar sólo algunos.

Diversos estudios sobre los impactos potenciales del cambio climático han mostrado que México podría ser particularmente vulnerable a este fenómeno, en parte debido a su ubicación geográfica y a los cambios en las variables de clima que se esperarían en estas regiones, y en parte por las condiciones socioeconómicas preexistentes y las grandes desigualdades con respecto a la distribución del ingreso y acceso a los recursos educativos y técnicos, entre otros. La Convención Global del Banco Mundial para la Reducción del Riesgo (2009) estima que aproximadamente 71% del Producto Interno Bruto de México (PIB) está expuesto a los impactos del cambio climático. Estudios preliminares en el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM (CCA-UNAM) calculan una afectación promedio equivalente a 86% del PIB actual, con un rango que puede superar 200%.

Algunos de los impactos del cambio climático que se prevé que ocurran a mediados de este siglo en México son:

- Cambios alrededor de 50% de la cubierta vegetal, proyectándose grandes pérdidas de bosques templados.
- Una amplia variedad de especies de mamíferos en México podría perder alrededor de 50% de su área de distribución, como resultado directo del impacto del cambio climático.

- Una disminución del área apta en México para la producción de maíz de temporal de hasta 80%, en comparación con las condiciones actuales. También se espera que los cultivos comerciales sean afectados de manera importante por el cambio climático.
- La sequía meteorológica probablemente aumentará en la parte norte del país, y la disponibilidad de agua podría reducirse críticamente en las regiones centro y norte de México.
- Las zonas bajas costeras en el Golfo de México podrían verse gravemente afectadas por el incremento en el nivel del mar, y podrían ser más vulnerables a tormentas y huracanes.
- Afectación de los asentamientos humanos, incluyendo aumentos en la incidencia de enfermedades transmitidas por vectores y en las tasas de migración rural hacia las zonas urbanas, así como disminución en la disponibilidad de agua y de alimentos.

Todo ello, a pesar de que las emanaciones de México se ubican entre 1.6 y 2% de las emisiones totales, fluctuando entre los lugares 11 y 13 de los 20 países con más emisiones del mundo, dentro de los cuales los 10 primeros acumulan más de 75% del total. Los impactos más graves del cambio climático recaerán, en primera instancia, en aquellos países con menos recursos tecnológicos, infraestructura e integridad de sus ecosistemas naturales. Esto es, en general, los que menos porcentaje de emisiones tienen. ©

LA CIENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO

La ciencia que se desarrolla en torno al cambio global está en desarrollo y es muy distinta a la ciencia de disciplinas aisladas y resultados contundentes; además, tiene lugar en un contexto de fuerte presión política y de valores sociales y económicos controvertidos.

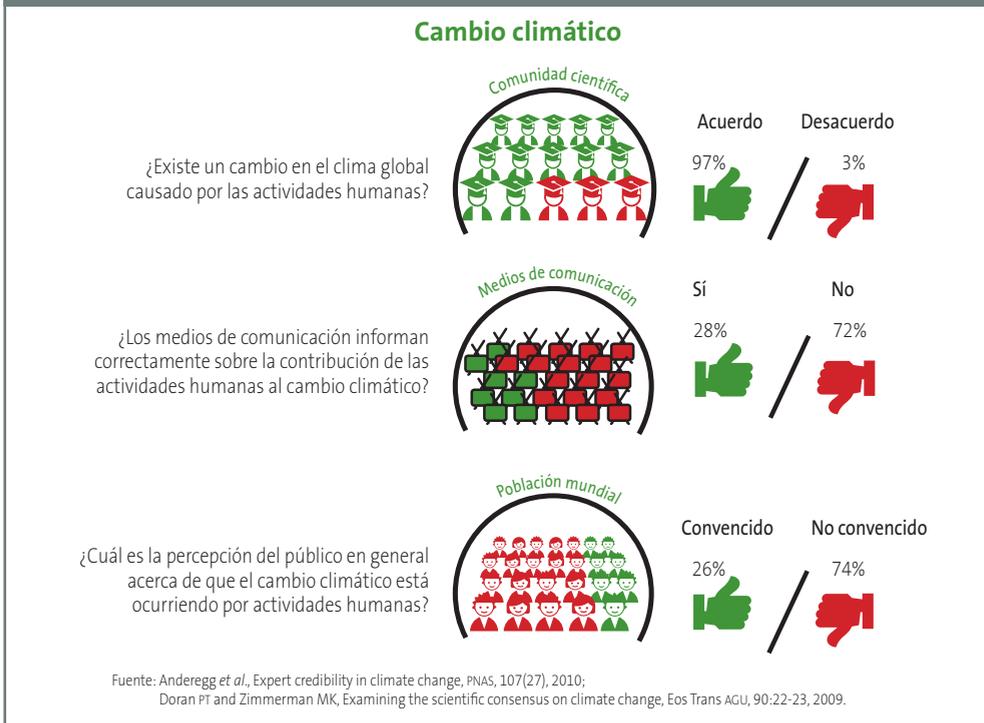
En la actualidad hay numerosas líneas de investigación respecto al cambio climático, a sus impactos, a la generación de energías alternativas a la quema de combustibles fósiles, al desarrollo de tecnologías que reduzcan emisiones o que permitan restaurar ecosistemas.

Prácticamente todas las disciplinas del conocimiento, relacionadas con distintos sectores de actividad, están involucradas en mayor o menor medida con el tema, por ejemplo:

- Arquitectura, ingeniería y el sector de la construcción en general.
- Áreas naturales protegidas, ecología, fenología, biodiversidad.
- Salud, medicina, virología, bacteriología.
- Energía, transporte, procesos industriales, tratamiento del agua.
- Agricultura, alimentación, pesca, ganadería.
- Economía, estadística, econometría.
- Psicología, derecho, ética, filosofía.
- Cómputo y modelación matemática, entre otros.

En éstas y en muchas más se hace necesario el desarrollo de nuevos enfoques y metodologías que tomen en cuenta el cambio climático.

Figura 3. Relación entre consenso científico, consenso social y medios de comunicación respecto al cambio climático (Elaborada por P. Villalobos a partir de los datos de la fuente citada).



¿Están de acuerdo los científicos en que hay un cambio climático global?

En primer lugar, es importante resaltar que existe un amplio consenso entre los científicos que estudian estos temas en relación con la existencia de un cambio climático que actualmente tiene como causa principal las actividades humanas. Esta aceptación se refleja en las publicaciones especializadas de todo el mundo (Figura 3).

Lo curioso es que, ignorando este consenso y todas las evidencias en las que se basan, los medios de comunicación, en su mayor parte, se empeñan en transmitir la idea o de que no hay acuerdo entre los científicos o de que el cambio climático no es provocado por el cambio en la atmósfera que producen las emisiones de los com-

bustibles que quemamos y de los ecosistemas que destruimos los seres humanos.

Esta actitud de los medios, reforzada por intereses económicos de grandes corporaciones, influye en la percepción de la sociedad sobre el problema del cambio climático. Con esto, se desestima la importancia del conocimiento científico alcanzado y se retardan las acciones contundentes, a distintos niveles, que deberían estarse llevando a cabo en todos los países para afrontar este fenómeno.

Es sobre los detalles del proceso y su comportamiento geográfico, así como en las metodologías para explorar las posibles respuestas de los sistemas biofísicos y socioeconómicos a las alteraciones climáticas, incluyendo las rutas específicas de adaptación en cada región del mundo,

en los que falta construir acuerdos. A escala global, por ejemplo, el comportamiento e impactos sinérgicos de aspectos como el ciclo de carbono y la sensibilidad del clima, la migración de poblaciones humanas (ya sean desplazados económicos o ambientales), la pérdida de biodiversidad de especies y la resiliencia de los ecosistemas, en condiciones de cambio climático, son problemas abiertos que requieren de una ciencia mucho más integral y dinámica.

¿Podemos realmente predecir el clima?

Es común preguntarse cómo puede predecirse el clima, que implica un largo plazo, si no se puede pronosticar el tiempo más allá de unos cuantos días. Por fortuna es factible hacerlo, y la razón fundamental es que si bien son dos problemas matemáticos que se resuelven con las mismas herramientas, tienen una diferencia fundamental en las condiciones impuestas necesarias para resolverlos.

El pronóstico del tiempo es un problema de valor inicial: se empieza con los detalles de la situación meteorológica que se observa y, mediante la aplicación de las leyes de la física que gobiernan el movimiento, se proyecta hacia adelante la manera en que los sistemas atmosféricos se desarrollarán durante los próximos días. El uso de estos métodos nos permite contar con predicciones útiles de hasta ocho días y, en casos excepcionales, son posibles de hasta cuatro semanas.

Los pronósticos del clima se producen de una manera diferente, dado que aquí el problema es fundamentalmente de valor límite, si bien estudios recientes han mostrado que en predicciones de-

cadales las condiciones de inicio juegan también un papel muy importante. La circulación de la atmósfera y el océano en un modelo climático depende en gran medida de las condiciones de frontera impuestas, como bien pueden ser la entrada de energía solar y la composición química de la atmósfera de la Tierra (por ejemplo, la concentración de los gases de efecto invernadero). No es posible predecir el tiempo para algunos días, en particular con un pronóstico climático, pero se puede decir algo acerca de las condiciones medias para un área en particular, así como la probabilidad y la magnitud de las desviaciones de esa media.

Sin embargo, el pronóstico del clima es también limitado en su alcance temporal, sobre todo ante situaciones como la actual, en que la respuesta climática dependerá de factores tales como cambios en las tecnologías y políticas de desarrollo energético, decisiones de la sociedad respecto al cuidado, restauración y protección de sus recursos naturales, del crecimiento poblacional, de los cambios en las economías globales y regionales, entre otros.

Modelación, incertidumbre, pronósticos y escenarios

Los modelos utilizan ecuaciones matemáticas para representar relaciones entre los componentes de un sistema (en este caso climático) simulando sus interacciones y las respuestas posibles, con diferentes niveles de exactitud y perspectiva. Varias líneas de investigación en ciencias naturales y sociales van en el sentido de crear modelos que nos permitan conocer la dirección probable del cambio de diferentes variables climáticas en distintos marcos

socio-ambientales. A pesar del gran desarrollo que han tenido los modelos físicos del clima en las últimas décadas, como se reconoce en el Cuarto Reporte de Evaluación del IPCC, éstos todavía no son capaces de entregar la información requerida para hacer más certera la toma de decisiones y el desarrollo de políticas públicas respecto a evaluaciones de impactos y de posibles medidas de adaptación.

Para estudiar las posibles consecuencias de un clima cambiante y tener una idea de los efectos en el sistema climático, y más concretamente en las concentraciones de emisiones de varias acciones alternativas a nivel global y regional, los científicos han construido los llamados escenarios, que describen la evolución de las interacciones en el sistema climático de acuerdo con varios “futuros” posibles, considerando diferentes alternativas de uso de la energía, de desarrollo económico, de cuidado del medio ambiente, etcétera. Los escenarios de emisiones y los escenarios climáticos son herramientas para el estudio del cambio climático, cuyas proyecciones no constituyen pronósticos y no deben ser confundidos con ellos.

Los modelos climáticos globales simulan los procesos químicos y físicos de la Tierra para producir valores estimados de varios parámetros, como la temperatura y precipitación; estos modelos revelan patrones de cambio a gran escala, basados en suposiciones específicas (escenarios) sobre las emisiones futuras. También nos permiten estudiar los cambios climáticos que ha experimentado nuestro planeta en el pasado.

En la actualidad no existe un consenso en la comunidad científica internacional sobre la factibilidad de hacer una predicción climática certera con décadas

de antelación, pero se están llevando a cabo grandes esfuerzos internacionales orientados a resolver esta interrogante. Estudios muy recientes, por ejemplo, muestran que las interacciones entre la atmósfera y el océano, y sus retroefectos, tienen un papel fundamental en la variabilidad decadal.

La complejidad del sistema climático y de los sistemas naturales y humanos que interactúan en el contexto de un cambio global suponen que la información de que se disponga siempre contendrá diversos grados de incertidumbre. Más aún, la toma de decisiones y la evaluación de riesgo dependen de manera crítica de cómo se maneje la incertidumbre que acompaña los resultados de modelos y proyecciones climáticas.

Sin embargo, pasar de las proyecciones globales a proyecciones regionales o locales, con niveles de incertidumbre manejables, constituye un reto vigente al que se le sigue buscando solución.

La investigación de la atmósfera, el clima y el cambio climático en México

México se incorporó a la investigación en cambio climático desde la década de 1990, a través de tres aspectos principales: inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero, construcción de escenarios de cambio climático y de emisiones, y estudios de vulnerabilidad al cambio climático. Una característica del desarrollo de esta línea de investigación ha sido la liga temprana entre el sector científico y el gubernamental, básicamente con el sector ambiental y el energético.

Actualmente la investigación se aborda desde diferentes vertientes, de manera

creciente, y abarca tanto los sistemas biofísicos como aspectos socioeconómicos y tecnológicos, así como los sectoriales.

Entre los temas en que se ha incurrido recientemente en México, y que más ligan a la investigación con planeación y políticas públicas, está el de la estimación de los costos económicos que el calentamiento global podría implicar para el país. En el estudio *Economía del cambio climático en México* (SHCP/Semarnat, 2009) —publicado por el gobierno federal y actualmente utilizado para apoyar la toma de decisiones y para construir una posición nacional en las negociaciones sobre cambio climático— se estimaron los costos acumulados del cambio climático a lo largo de este siglo en el equivalente a 6.22% del PIB actual de México, utilizando una tasa de 4% de descuento.

Esto es, de acuerdo con las estimaciones utilizadas por el gobierno federal en dicha publicación —no importa qué escenario de emisiones se utilice—, los costos acumulados del cambio climático serían más pequeños que el costo de la crisis de 2008-2009 y comparables con algunas de las crisis económicas que han ocurrido en México en los últimos 30 años. La cifra es tan baja que contrasta con las estimaciones mundiales y regionales de los costos del cambio climático que están disponibles; contrasta también con la importancia de los impactos potenciales mostrada por las evaluaciones de impacto que existen para México. El motivo es que dichas estimaciones son metodológica y conceptualmente erróneas.

En un esfuerzo por proveer estimaciones aplicando metodologías adecuadas al fenómeno, el Centro de Ciencias de la Atmósfera se encuentra desarrollando un Modelo Estocástico de Evaluación Inte-

grada (M-CCA/UNAM; Estrada *et al.*, 2010). Según este modelo, bajo el escenario de emisiones determinado (A2), los costos acumulados para el país durante este siglo podrían ubicarse en el rango de 0.16 a 2.28 veces el PIB actual de México (esto es, equivalente de 16 a 228% del PIB), con un valor medio equivalente a 86%, utilizando una tasa de descuento de 4%. Estas cifras son consistentes con la literatura especializada en el tema, en cuanto al orden de magnitud de los impactos y a los fundamentos de las metodologías empleadas.

Si bien la investigación sobre las posibles consecuencias del cambio climático en la economía para México están en sus inicios y requieren importantes esfuerzos de investigación con los correspondientes recursos para llevarlos a cabo y crear la capacidad científica necesaria en el país, estos estudios han tenido una buena acogida entre los expertos internacionales en el tema y tienen amplias perspectivas de desarrollo.

Por otra parte, respecto a la investigación sobre las bases físicas del cambio climático, partimos de una situación crítica respecto al conocimiento de cómo funciona el clima en México. Quizá sorprenda al lector —que ha visto diseminada una gran cantidad de estaciones meteorológicas por todo el país y que ha conocido los esfuerzos en varias entidades, además del Distrito Federal, por conocer la calidad del aire— el saber que no tenemos en la actualidad información suficiente, sistematizada y de buena calidad para entender el clima y varios de los procesos atmosféricos involucrados. Por suficiente nos referimos a que la información tenga una cobertura nacional más homogénea y registros continuos que abarquen todo el siglo xx (o al menos una buena parte) y lo que va del

actual. Carecemos de una cultura de observación de la atmósfera y el clima, y de apoyo a la investigación en dichos temas, misma que sí existe en otras latitudes.

En cuanto a la calidad, sistematización y accesibilidad de los datos, el problema es que la información atmosférica, tanto física como química y biológica, es colectada y almacenada por diversas áreas gubernamentales, académicas, paraestatales y privadas sin criterios claros de validación o calibración que permitan compararla y complementarla, además de que no contiene series continuas ni en el tiempo ni en el espacio ni en el tipo de variables registradas. En el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) existe mucha información, pero es dispersa y de difícil acceso, además de que está principalmente orientada a estaciones terrestres. El IMTA hizo un esfuerzo para generar un programa de extracción de información climatológica, pero que no juzgaba la calidad de los datos. Si bien en los años recientes se han hecho esfuerzos notorios para mejorar el funcionamiento y productos del SMN, la falta de personal especializado de alto nivel, del establecimiento de mecanismos adecuados de interacción con el sector científico e infinidad de barreras burocráticas, entre otras limitantes, hacen todavía difícil el tránsito hacia su modernidad y eficiencia.

Si a la desorganización de la información meteorológica sobre el continente le añadimos una carencia grave de información oceánica, veremos que nos encontramos en una posición que nos impide entender a cabalidad —y ya no digamos cuantificar— los procesos que regulan el estado de la atmósfera y de los mares en nuestro territorio.

Entre las experiencias exitosas recientes de sistematización de la información se

encuentra el *Atlas Climático Digital de México*, elaborado en el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM en colaboración con el SMN (<http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/>), que contiene información procesada de diversas fuentes. Además, se han realizado estudios más detallados en regiones específicas (por ejemplo, Distrito Federal, Michoacán y Oaxaca).

A pesar de las carencias mencionadas, algo se ha avanzado también para entender la dinámica del clima en México, pero es impostergable superarlas para poder sentar las bases de estudios de largo alcance que nos permitan, primero, estimar de una manera confiable el estado de la atmósfera y del océano, y después realizar predicciones del estado futuro de la atmósfera y eventualmente del clima.

Como el problema de la simulación del clima es extraordinariamente complejo, es necesario contar con especialistas en cada uno de los componentes del sistema climático, además de constituir grupos interinstitucionales de modelación que avanzarían de manera más efectiva que los investigadores aislados.

A manera de conclusión de este capítulo, podemos decir que la ciencia en el contexto de cambio global requiere construir un nuevo modelo de acercamiento fundamentado y crítico al conocimiento, incluidos los saberes tradicionales, estableciendo nuevas formas de relación con la sociedad.¹ ©

¹ A los no especialistas interesados en un seguimiento general de los avances de la ciencia en este campo, se recomienda la lectura de las síntesis de los reportes de evaluación que periódicamente publica el IPCC (www.ipcc.ch) disponibles en español; de las comunicaciones nacionales auspiciadas por el INECC (www.inec.gob.mx), y de las publicaciones de programas de investigación interdisciplinarios como el PINCC (www.pincc.unam.mx).

PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Identificación de alternativas y soluciones

Los capítulos precedentes han intentado plantear de manera general las causas y procesos del cambio climático y la situación actual del conocimiento científico a nivel internacional y nacional para abordarlo.

La ciencia del cambio climático requiere del desarrollo y aplicación de metodologías específicas, gran parte de ellas todavía en construcción. En ese sentido, las propuestas planteadas en este capítulo no pretenden ser soluciones al cambio climático *per se*, sino exponer ejemplos de acciones necesarias y relevantes en distintos niveles y ámbitos de actuación, para mejorar y reforzar la investigación en este tema en nuestro país, de manera que constituyan un elemento real, útil y dinámico en la toma de decisiones que impacten a la sociedad y al ambiente, al mismo tiempo que contribuyan a la generación de conocimientos necesarios a escala internacional.

Uno de los problemas que prevalecen entre la ciencia y la administración pública, no sólo en cambio climático, sino en prácticamente todas las áreas, es la diferencia en tiempos y profundidad requeridos. Esto se agrava en países que, como el nuestro, no han desplegado un apoyo permanente y continuo a áreas básicas relacionadas con la atmósfera y el clima, no tienen la infraestructura adecuada para contar con la calidad y cantidad de información requerida, ni han preparado suficientes profesionistas capaces de abordar el tema a nivel científico, tecnológico o de gestión.

Esta situación había llevado históricamente a una relación coyuntural entre la administración y la ciencia. En ella, ante problemas puntuales surgidos, o ante presiones o compromisos internacionales, se hacían preguntas específicas a los investigadores o grupos que estuvieran trabajando lo relacionado con el tema —en el mejor de los casos. De esta manera, se conseguía alguna respuesta, sin que necesariamente hubiera una continuidad ni en la consulta ni en el apoyo institucional al área o a la línea de investigación.

Esta situación ha cambiado ligeramente con instrumentos como las convocatorias sectoriales, estatales y temáticas de Conacyt, así como con los apoyos a redes, laboratorios nacionales y algunos programas de largo alcance. Sin embargo, falta mucho aún y más en el área de atmósfera y clima.

Las propuestas que aquí se presentan abogan por el fortalecimiento institucional para apuntalar la ciencia básica que se relaciona con los diversos procesos involucrados en el cambio climático; por el impulso decidido y de largo aliento a líneas de investigación nuevas y emergentes ante dicho cambio; y por estrategias de creación y fortalecimiento de la infraestructura científica y organizativa, material y humana, en todo el país. Se delinean algunas medidas que permitirían un desarrollo más rápido y firme de una ciencia que requiere de la multi, inter y transdisciplina, así como de una interacción sostenida con los diversos sectores de la sociedad.

Hay una gran cantidad de literatura, mucha de la cual está citada en los trabajos que presentamos como referencias, donde se describen temas específicos de investigación en cada área; aquí presentamos en tres bloques propuestas de rutas y propósitos generales del apoyo a la ciencia del cambio climático.

Mejorar la capacidad científica nacional para enfrentar el cambio climático

I. Contar con datos fidedignos y oportunos sobre variables atmosféricas, oceánicas y ambientales de todo el territorio nacional, de manera continua, sistematizada y permanente

Si bien hemos avanzado en la investigación sobre el clima, la atmósfera y sobre sus impactos en la sociedad, estamos muy lejos de contar en nuestro país con la capacidad para responder preguntas básicas que nos permitan enfrentar los retos que el cambio climático plantea. Por ejemplo, a pesar de que nuestro territorio está ubicado entre dos zonas de generación de huracanes, la información más relevante en cada temporada proviene generalmente de los centros de pronóstico de Estados Unidos de América.

A diferencia de otras naciones, en la nuestra no existe ninguna institución encargada de mantener una red de observaciones terrestres y marinas coordinada y continua, cuyos registros pasen a formar parte de un banco de datos de información meteorológica y atmosférica general. Se requiere una instancia relativamente centralizada con la capacidad de coleccionar, procesar y compartir los datos observacionales necesarios para inicializar y calibrar modelos numéricos y elaborar pronósticos de tiempo y clima de manera oportuna, además de realizar investigación científica. Se requiere contar con una instancia nacional (centro, instituto o agencia) responsable de la integración, modernización, ampliación y vigilancia de las redes de monitoreo que existen en el

país y las provenientes de satélites y redes internacionales atmosféricas y marinas.

No es posible avanzar adecuadamente en la investigación climática y ambiental cuando cada grupo de investigación tiene que invertir un esfuerzo y tiempo considerables para conseguir y validar datos de variables básicas y comúnmente dispersos en distintas instituciones o fuentes. Partiendo de información fidedigna, sistematizada y centralizada, los investigadores del clima podrían dedicarse a desarrollar mayor resolución espacial de los modelos, introduciendo aspectos regionales; desarrollar capacidades computacionales para analizar e interpretar modelos e información observacional, etc., a la vez que retroalimentar con los resultados de la investigación la generación de productos y servicios climáticos necesarios para los tomadores de decisiones y la sociedad en general.

Algunas interrogantes fundamentales que deberían ser contestadas durante los próximos años respecto al trinomio información-investigación-aplicación son:

¿Cuál es la distribución más eficiente de una red de observaciones que suministre tanto las condiciones de inicio como las observaciones para verificar las predicciones climáticas? ¿Cuáles son las variables de interés dentro de nuestro territorio que muestran la mayor predictibilidad? ¿Cuál es la mejor manera de inicializar modelos acoplados océano-atmósfera para realizar predicciones decadales? ¿Cómo podemos validar predicciones decadales, considerando lo reducido del registro observacional? ¿Cuáles son las aplicaciones de los pronósticos meteorológicos y climáticos (estacionales y decadales) socialmente relevantes para nuestro país?

II. Construcción de capacidades científicas y tecnológicas para la investigación en cambio climático a nivel local, regional y nacional

Una de las condiciones necesarias para lograr avances firmes en cuanto a investigación en cambio climático es considerar la interacción de sistemas biofísicos y de sistemas sociales complejos. Como se mencionó anteriormente, la ciencia del cambio climático requiere utilizar enfoques y metodologías específicos, muchos de los cuales están en desarrollo. Se propone la realización de cursos nacionales y regionales de alto nivel sobre el estado de la cuestión en las metodologías de investigación en cambio climático en diversas disciplinas y sectores de actividad.

Por otra parte, se requiere investigación que pueda reconstruir la historia climática de localidades y regiones estratégicas a nivel nacional. Las universidades locales e institutos descentralizados de investigación pueden aportar gran parte de ese conocimiento y participar en programas de investigación climática de largo alcance.

El fortalecimiento de la capacidad de cómputo para el clima es también estratégico, así como el impulso a una Red Mexicana de Modelación del Clima, cuyos inicios ha cobijado el Instituto Nacional de Ecología (INECC-Semarnat) durante la elaboración de la Quinta Comunicación Nacional. Independientemente de que los distintos grupos de investigación sigan experimentando con los modelos que elijan, el conformar una instancia de discusión y análisis, así como de creación de capacidades para la modelación numérica, es esencial para un buen avance en ese tema.

La construcción de instancias especializadas en coleccionar, procesar y distribuir información satelital sobre variables ambientales, atmosféricas y oceánicas es también una necesidad impostergable.

Aumentar el conocimiento sobre impactos del clima, vulnerabilidad y adaptación, así como sobre tecnologías de mitigación y para la adaptación

Como se ha expuesto reiteradamente en los capítulos anteriores, es factible que durante las próximas décadas las alteraciones climáticas asociadas a forzantes externos, como los gases de efecto invernadero, los aerosoles y los cambios de uso de suelo, alcancen magnitudes que trastornen todo nuestro entorno natural y social. Muchos de los cambios, sin embargo, se irán presentando de manera imperceptible, sobre todo en ámbitos, ecosistemas o actividades económicas cuyo comportamiento actual respecto a la atmósfera y al clima no está suficientemente documentado.

Si bien muchas de las propuestas que hemos hecho requieren de una cierta centralización para su ejecución, la generación del conocimiento necesario para enfrentar los impactos del cambio climático requiere de un anclaje a escala local y regional.

Por ello se propone la creación, integración o reorganización de los recursos existentes, para constituir centros regionales de estudios estratégicos para el clima y el desarrollo sustentable, con tres grandes áreas de estudio:

- Investigación para entender el clima y su evolución a nivel regional, incluyendo el estudio de los procesos locales y globales interactuantes en la zona.
- Investigación en impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático.
- Construcción de políticas sociales, ambientales y de desarrollo económico.

Los temas específicos se decidirán de acuerdo con las condiciones de la región, pero podrían abarcar desde la identificación de fuentes y sumideros de carbono, la resiliencia de los diferentes ecosistemas y sus procesos, la identificación por sectores de actividad de puntos de vulnerabilidad y medidas viables de adaptación, áreas naturales protegidas que requieran ampliación o cambios en los programas de manejo para proteger la biodiversidad, hasta energías alternativas y tecnologías limpias adecuadas a las actividades económicas y sociales locales o regionales.

El reto es implementar las estrategias climáticas y los programas ambientales existentes, a la vez que fortalecer la investigación local y regional de procesos climáticos, biofísicos, socioeconómicos, culturales y la innovación tecnológica. La meta es identificar y reducir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad de adaptación y resiliencia a las diferentes manifestaciones del cambio climático, así como desarrollar alternativas de mitigación, en un marco orientado a la sustentabilidad.

Construcción de una cultura social ambiental, climática y de desarrollo sustentable

En un contexto en el que se requiere aumentar el conocimiento sobre los sistemas naturales y sociales de nuestro país, en el que es necesario desplegar creatividad para construir alternativas energéticas, tecnológicas, ecológicas, económicas, educativas y de organización social, así como crear ambientes que propicien innovaciones y soluciones emergentes, por mencionar algunos aspectos, fortalecer el desarrollo de ciencia y tecnología constituye uno de los ejes para la disminución de nuestra vulnerabilidad frente al cambio global.

Sin embargo, ninguna medida puede ser exitosa si no cuenta con el respaldo y la participación social. Por ello, parte importante de la estrategia de fortalecimiento de la investigación en cambio climático es el impulso a programas de divulgación científica en todos los niveles y sectores de la sociedad, así como lograr una participación activa y creativa en las tareas de reducción de la vulnerabilidad, implementación de medidas de mitigación y construcción de alternativas de adaptación, y estímulo a la resiliencia.

El objetivo es que la sociedad conozca y se apropie de los conocimientos científicos y tecnológicos combinándolos con su experiencia y cultura, de tal suerte que sea capaz, como colectividad, de atender las señales de alerta de la realidad y del conocimiento, así como de cambiar las tendencias destructivas en su entorno.

Propuestas para apoyar el desarrollo de la ciencia del cambio climático

1. Mejorar la capacidad científica nacional para enfrentar el cambio climático.
 - 1.1. Creación de una instancia especializada a nivel nacional en la integración, captación, validación, procesamiento y distribución de información observacional que permita contar con datos fidedignos y oportunos sobre variables atmosféricas, oceánicas y ambientales de todo el territorio nacional de manera continua, sistematizada y permanente.
 - 1.2. Construcción de capacidades científicas y tecnológicas para la investigación en cambio climático a nivel local, regional y nacional. Lo anterior incluye programas de doctorado para la formación de investigadores en esta temática.
 - a) Apoyar la realización de cursos y talleres a nivel nacional, regional y local sobre metodologías en cambio climático en diversas disciplinas y sectores de actividad.
 - b) Impulsar y apoyar programas de investigación climática de largo aliento, fomentando la participación multistitucional, a nivel regional y nacional.
 - c) Apoyo a la consolidación de una Red Nacional de Modelación Climática, así como a una sobre aspectos socioeconómicos y culturales.

- d) Fortalecimiento de la capacidad de cómputo para el clima creando centros nacionales o regionales *ad hoc*, así como instancias con la capacidad de captura y procesamiento de datos de percepción remota, sistematización y distribución.
2. Aumentar el conocimiento sobre impactos del clima, vulnerabilidad y adaptación, así como desarrollar tecnologías para la mitigación y adaptación.
 - 2.1. Conformación de centros regionales de estudios estratégicos sobre cambios globales y el desarrollo sustentable, con tres grandes áreas de estudio:
 - a) Investigación para entender el clima y su evolución a nivel regional, incluyendo el estudio de los procesos locales y globales interactuantes en la zona.
 - b) Investigación en impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático por ecosistemas naturales y por sectores de actividad.
 - c) Conformación de una Red de Análisis e Innovación Tecnológica para la mitigación y adaptación, con participación de los sectores público, privado y académico.
 - 2.2. Fomentar la existencia de programas integradores de investigación sobre diferentes aspectos del cambio climático en instituciones académicas.
 3. Construcción de una cultura social ambiental, climática y de desarrollo sustentable.
 - 3.1. Diseño de una estrategia de comunicación para cambios de conductas y percepción relacionadas a la adaptación.
 - 3.2. Propiciar en las universidades y centros educativos, a diferentes niveles, una mayor integración de los conocimientos científicos y los valores culturales.
 - 3.3. Conformar alianzas y redes sociales a nivel local y regional para la construcción de proyectos de adaptación comunitaria y de innovación conjunta de procesos de producción y de organización. ☉
 - d) Construcción de políticas sociales, ambientales y de desarrollo económico que integren el mejor conocimiento sobre los efectos en nuestra región del cambio global.

PROPUESTAS DE POLÍTICAS PÚBLICAS Y SOLUCIONES IDENTIFICADAS

La evidencia del calentamiento global y la certeza de que la temperatura superficial del planeta continuará aumentando en las próximas décadas, bajo cualquier escenario de emisiones plausible, son ahora un factor a considerar en la planificación de los gobiernos, diversas empresas y sectores socioeconómicos con alta sensibilidad al clima y vulnerabilidad a sus impactos.

La aparición de riesgos resultantes de la acción del hombre, cada vez más imprevisibles, inciertos e incuantificables, pero potencialmente catastróficos ambientalmente, dio lugar al principio precautorio, que en su forma más elemental constituye una estrategia para hacer frente a la incertidumbre científica (UNESCO, 2005) y es el que se invoca en varias de las propuestas de políticas públicas frente al cambio climático.

La Ley General de Cambio Climático (LGCC), que recientemente entró en vigor en México, aparentemente contempla todas las aristas de la organización gubernamental para abordar el tema e involucrar al resto de los sectores, por lo que consideramos de mayor utilidad en este capítulo llamar la atención sobre algunos mecanismos y criterios que, a nuestro juicio, se deberían considerar al trabajar en la reglamentación operativa de dicha Ley, así como en la necesaria adecuación del marco institucional para que pueda aplicarse efectivamente.

De cualquier manera, es claro que la definición de políticas públicas en cambio climático, y en un número creciente de acciones de gobierno y planes de desarrollo, debe estar ligada al mejor conocimiento científico y tecnológico disponible, el cual, sobre todo en temas ambientales, es dinámico; por lo anterior, dichas políticas tienen que ser revisadas periódicamente a la luz de los resultados, de los nuevos conocimientos y de los cambios que hubiera en los escenarios proyectados.

Sobre la elaboración de políticas generales de mitigación y adaptación al cambio climático

Hay varias recomendaciones y ejemplos internacionales sobre la elección de tecnologías de mitigación y sus limitaciones (Tabla 1), de adaptación planificada por sectores (Tabla 2) y de políticas de desarrollo ajenas al cambio climático, pero que pueden tener una influencia en las emisiones (Tabla 3). Las reproducimos aquí para dar idea del tipo de preguntas y consideraciones que sería necesario hacer para abordar la construcción de políticas públicas, adecuándolas por supuesto a las condiciones del país.

Es importante recalcar que no existe, en ninguno de los sectores, una tecnología única que pueda proporcionar todo el potencial de mitigación, por lo que resulta conveniente evaluar a partir de tiempo, costo, efectividad y aplicabilidad. El promover el desarrollo de investigación científica y tecnológica sectorial puede coadyuvar a encontrar alternativas.

En cuanto a las políticas de adaptación es importante destacar que, por definición, no pueden ser construidas sin tomar en cuenta las condiciones particu-

lares en donde se van a aplicar, pues del conocimiento de esas condiciones dependerá definir a qué se tienen que adaptar (sequía, tormentas severas, lluvia ácida, etcétera), y quién se tiene que adaptar (construcción, ecosistemas ribereños, etcétera), lo cual requiere también del concurso de la investigación local y regional. Además, como señala el propio IPCC, se debe tomar en cuenta que la capacidad adaptativa está íntimamente conectada con el desarrollo social y económico, pero no se distribuye por igual entre las sociedades ni en el seno de éstas, con lo cual es evidente que la investigación que se requiere para la adaptación involucra por igual a las ciencias naturales, sociales y humanísticas.

La última tabla ejemplifica un error muy común en las políticas públicas ambientales y que ocurre también respecto a cambio climático, y es que si los objetivos (de mitigación, adaptación, disminución de la vulnerabilidad, etcétera) no permean realmente todos los planes de desarrollo y a los diversos sectores, pueden verse disminuidos o anulados por políticas de otras áreas gubernamentales.

Tabla 1. Ejemplos de tecnologías de mitigación sectorial clave, políticas y medidas, limitaciones y oportunidades (IPCC, 2007b)

Sector	Tecnologías y prácticas de mitigación clave comercialmente disponibles. Las tecnologías y prácticas de mitigación clave que se comercializarían antes de 2030 se indican en cursiva	Políticas, medidas e instrumentos probadamente efectivos para el medio ambiente	Limitaciones y oportunidades clave (fuente normal = limitaciones; cursiva = oportunidades)
Suministro de energía (GTIII 4.3, 4.4)	Mejora de la eficiencia del suministro y de la distribución; reemplazo de carbón por gas; energía nuclear; calor y energía eléctrica renovables (energía hidroeléctrica, eólica, solar, geotérmica y bioenergía); utilización combinada de calor y de energía eléctrica; primeras aplicaciones de captación y almacenamiento de dióxido de carbono (CAD) (por ejemplo, almacenamiento de CO ₂ extraído del gas natural); <i>CAD para instalaciones de generación eléctrica a partir de gas, biomasas y carbono; energía nuclear avanzada; energía renovable avanzada, incluidas las energías de las mareas y de las olas, la concentración de la energía solar y la energía fotovoltaica solar.</i>	Reducción de subvenciones a combustibles de origen fósil; impuestos o gravámenes sobre el carbono para los combustibles de origen fósil.	La resistencia opuesta por intereses creados puede dificultar su aplicación.
		Tarifa de alimentación para las tecnologías de energía renovable; obligaciones de energía renovable; subvenciones al productor.	<i>Puede ser apropiado para crear mercados de tecnología de bajo nivel de emisiones.</i>
Transporte (GTIII 5.4)	Vehículos con mayor eficiencia de combustible; vehículos híbridos; vehículos diesel más limpios; biocombustibles; sustitución del transporte por carretera por el ferrocarril y el transporte público; transporte no motorizado (en bicicleta, caminando); planificación del uso de la tierra y del transporte; <i>biocombustible de segunda generación; aeronaves de mayor eficiencia; vehículos eléctricos y vehículos híbridos avanzados con baterías más potentes y fiables.</i>	Economización de combustible obligatoria; mezcla de biocombustible y normas de CO ₂ para el transporte diario.	La cobertura parcial de las flotas de vehículos puede limitar la eficacia.
		Impuestos sobre la compra, registro, utilización y combustible de los vehículos; fijación de precios de carreteras y aparcamientos.	La eficacia puede disminuir con el aumento de los ingresos.
		Influencia sobre las necesidades de movilidad mediante regulaciones del uso de la tierra y planificación de infraestructuras; inversión en instalaciones de transporte público atractivas y en modalidades de transporte no motorizado.	<i>Particularmente apropiado para países que están estableciendo sus sistemas de transporte.</i>

Tabla 1. Ejemplos de tecnologías de mitigación sectorial clave, políticas y medidas, limitaciones y oportunidades (IPCC, 2007b)

Sector	Tecnologías y prácticas de mitigación clave comercialmente disponibles. Las tecnologías y prácticas de mitigación clave que se comercializarían antes de 2030 se indican en cursiva	Políticas, medidas e instrumentos probadamente efectivos para el medio ambiente	Limitaciones y oportunidades clave (fuente normal = limitaciones; cursiva = oportunidades)
Edificios (GTIII 6.5)	Iluminación eficiente y con luz natural; electrodomésticos y aparatos de calefacción y refrigeración más eficientes; mejora de los hornillos de cocina, mejora de aislamientos; diseño solar pasivo y activo para calefacción y refrigeración; fluidos de refrigeración alternativos, recuperación y reciclado de gases fluorados; diseño integrado de edificios comerciales. Por ejemplo, con tecnologías provistas de sensores inteligentes de realimentación y control; energía fotovoltaica solar integrada en edificios.	Normas y etiquetado de aparatos eléctricos.	Necesidad de revisión periódica de las normas.
		Ordenanzas y certificación de edificios.	<i>Atractivo para nuevos edificios. Su cumplimiento puede ser difícil.</i>
		Programas de gestión orientada a la demanda.	Necesidad de regulaciones para que se beneficien los servicios públicos básicos.
		Programas de liderazgo del sector público, y en particular compras.	<i>Las compras estatales pueden aumentar la demanda de productos de utilización eficiente de la energía.</i>
Industria (GTIII 7.5)	Mayor eficacia de los equipos eléctricos de uso final; recuperación de calor y energía eléctrica; reciclado y sustitución de materiales; control de emisiones de gases distintos del CO ₂ ; y toda una serie de tecnologías para procesos específicos; <i>eficiencia energética avanzada; CAD para la fabricación de cemento, hierro y amoníaco; electrodos inertes para la fabricación de aluminio.</i>	Suministro de información sobre valores de referencia; normas de funcionamiento; subvenciones; créditos fiscales.	<i>Podría ser apropiado para estimular la incorporación de tecnología.</i> La estabilidad de las políticas nacionales es importante, atendiendo a la competitividad internacional.
		Permisos negociables.	Mecanismos de asignación predecibles y señales de precios estables, importantes para las inversiones.
		Acuerdos voluntarios.	Algunos factores de éxito: claridad de objetivos, un escenario de referencia, participación de terceros en el diseño y revisión, y disposiciones de monitoreo explícitas; estrecha cooperación entre gobiernos e industria.

Tabla 1. Ejemplos de tecnologías de mitigación sectorial clave, políticas y medidas, limitaciones y oportunidades (IPCC, 2007b)

Sector	Tecnologías y prácticas de mitigación clave comercialmente disponibles. Las tecnologías y prácticas de mitigación clave que se comercializarían antes de 2030 se indican en cursiva	Políticas, medidas e instrumentos probadamente efectivos para el medio ambiente	Limitaciones y oportunidades clave (fuente normal = limitaciones; cursiva = oportunidades)
Agricultura (GTIII 8.4)	Mejora de la gestión de los cultivos y de las tierras de pastoreo para optimizar el almacenamiento de carbono en el suelo; restauración de suelos de turbera cultivados y de tierras degradadas; mejora de las técnicas de cultivo de arroz y de la gestión del ganado y del estiércol para reducir las emisiones de CH ₄ ; mejora de las técnicas de aplicación de fertilizantes nitrogenados para reducir las emisiones de N ₂ O; cultivos de energía específicos para sustituir la utilización de combustibles de origen fósil; mejora de la eficiencia energética; <i>mejora del rendimiento de los cultivos.</i>	Incentivos financieros y reglamentaciones para mejorar la gestión de la tierra; mantenimiento del contenido de carbono de los suelos; utilización eficiente de fertilizantes y de riegos.	<i>Puede alentar la sinergia con el desarrollo sostenible y con la reducción de la vulnerabilidad al cambio climático, venciendo con ello los obstáculos para la aplicación.</i>
Silvicultura/bosques (GTIII 9.4)	Forestación; reforestación; gestión de bosques; disminución de la deforestación; gestión de los productos de madera recolectada; utilización de productos forestales para obtener bioenergía en sustitución de combustibles de origen fósil; <i>mejora de especies arbóreas para incrementar la productividad de biomasa y el secuestro de carbón; mejora de las tecnologías de teledetección para el análisis de la vegetación y del potencial de secuestro de carbono del suelo, y cartografía de los cambios de uso de la tierra.</i>	Incentivos financieros (nacionales e internacionales) para incrementar la extensión de bosques, para reducir la deforestación, y para mantener y gestionar los bosques; reglamentación del uso de la tierra y observancia.	Son factores limitadores la falta de capital de inversión y los problemas de tenencia de la tierra. Puede ayudar a aminorar la pobreza.
Desechos (GTIII 10.4)	Recuperación de CH ₄ en vertederos; incineración de desechos con recuperación de energía; compostado de desechos orgánicos; tratamiento controlado de las aguas de desecho; reciclado y reducción al mínimo de desechos; <i>biocubiertas y biofiltros para optimizar la oxidación del CH₄.</i>	Incentivos financieros para mejorar la gestión de desechos y de aguas de desecho. Incentivos u obligaciones con respecto a la energía renovable. Reglamentación de gestión de desechos.	<i>Puede estimular la difusión de tecnologías.</i> Disponibilidad local de combustibles de bajo costo. Aplicación óptima a nivel nacional con estrategias para su cumplimiento.

Tabla 2. Ejemplos escogidos de adaptación planificada, por sectores (IPCC, 2007b)

Sector	Opción/estrategia de adaptación	Marco de políticas básico	Limitaciones y oportunidades más importantes con respecto a la aplicación (fuente normal = limitaciones; cursiva = oportunidades)
Agua (GTII 5.5, 16.4; tablas 3.5, 11.6, 17.1)	Extensión de la recogida de agua de lluvia; técnicas de almacenamiento y conservación de agua; reutilización del agua; desalación; eficiencia en el uso del agua y de la irrigación.	Políticas hídricas nacionales y gestión integrada de los recursos hídricos; gestión de fenómenos peligrosos relacionados con el agua.	Recursos financieros y humanos, y obstáculos físicos; <i>gestión integrada de recursos hídricos; sinergias con otros sectores.</i>
Agricultura (GTII 10.5, 13.5; tabla 10.8)	Ajuste de las fechas de plantación y de las variedades de cultivo; reubicación de cultivos; mejora de la gestión de la tierra (por ejemplo, control de la erosión, o protección de los suelos mediante la plantación de árboles).	Políticas de I + D; reforma institucional; tenencia y reforma de la tierra; formación; creación de capacidad; aseguramiento de cultivos; incentivos financieros (por ejemplo, subvenciones o créditos fiscales).	Limitaciones tecnológicas y financieras; acceso a nuevas variedades; mercados; <i>prolongación de la estación de cultivo en latitudes superiores; ingresos por productos "nuevos".</i>
Infraestructura para asentamientos (incluidas las zonas costeras) (GTII 3.6, 11.4; tablas 6.11, 17.1)	Reubicación; muros de contención costera y defensas frente a las mareas de tempestad; reforzamiento de dunas; adquisición de tierra y creación de marismas/humedales para amortiguar el aumento del nivel del mar y las inundaciones; protección de los obstáculos naturales existentes.	Normas y reglamentaciones que integren en el diseño consideraciones relativas al cambio climático; políticas de uso de la tierra; ordenanzas de edificación; seguros.	Obstáculos financieros y tecnológicos; disponibilidad de espacio para la reubicación; <i>políticas y gestión integradas; sinergias con metas de desarrollo sostenible.</i>
Salud humana (GTII 14.5; tabla 10.8)	Planes de acción calor-salud; servicios médicos de emergencia; mejora de la vigilancia y control de las enfermedades sensibles al clima; agua salubre y mejora de los saneamientos.	Políticas de salud públicas que tengan presentes los riesgos climáticos; reforzamiento de los servicios de salud; cooperación regional e internacional.	Límites de la tolerancia humana (grupos vulnerables); limitaciones de los conocimientos; capacidad financiera; <i>mejora de los servicios de salud; mejora de la calidad de vida.</i>
Turismo (GTII 12.5, 15.5, 17.5; tabla 17.1)	Diversificación de las atracciones y fuentes de ingresos turísticos; desplazamiento de las pendientes de esquí a parajes de mayor altitud y a glaciares; fabricación de nieve artificial.	Planificación integrada (por ejemplo, de la capacidad máxima, o mediante vinculación con otros sectores); incentivos financieros (por ejemplo, subvenciones y créditos fiscales).	Atractivo/comercialización de nuevas atracciones; desafíos financieros y logísticos; impacto potencialmente negativo sobre otros sectores (por ejemplo, la fabricación de nieve artificial puede intensificar la utilización de energía); <i>ingresos procedentes de "nuevas" atracciones; participación de un grupo más amplio de partes interesadas.</i>

Tabla 2. Ejemplos escogidos de adaptación planificada, por sectores (IPCC, 2007b)

Sector	Opción/estrategia de adaptación	Marco de políticas básico	Limitaciones y oportunidades más importantes con respecto a la aplicación (fuente normal = limitaciones; cursiva = oportunidades)
Transporte (GTII 7.6, 17.2)	Nuevos trazados/reubicación; normas de diseño y planificación de carreteras, ferrocarriles y otras infraestructuras para hacer frente al calentamiento y al drenado de suelos.	Integración del cambio climático en las políticas nacionales de transporte; inversión en I + D en situaciones especiales (por ejemplo, en regiones de permafrost).	Obstáculos financieros y tecnológicos; disponibilidad de rutas menos vulnerables; <i>mejora de las tecnologías e integración con sectores clave (por ejemplo, energía).</i>
Energía (GTII 7.4, 16.2)	Reforzamiento de la estructura de transmisión y distribución aérea; cableado subterráneo para servicios públicos básicos; eficiencia energética; utilización de fuentes renovables; menor dependencia de fuentes de energía únicas.	Políticas energéticas nacionales, reglamentaciones e incentivos fiscales y financieros para alentar la utilización de fuentes alternativas; incorporación del cambio climático en las normas de diseño.	Acceso a alternativas viables; obstáculos financieros y tecnológicos; aceptación de nuevas tecnologías; <i>estimulación de nuevas tecnologías; utilización de recursos locales.</i>

Tabla 3. Integración de consideraciones sobre el cambio climático en las políticas de desarrollo: ejemplos escogidos en relación con la mitigación

Sectores escogidos	Instrumentos y medidas de políticas ajenos al cambio climático	Podría afectar a:
Macroeconomía	Imposición de impuestos/subvenciones no relacionados con el clima o con otras políticas fiscales y reglamentarias que promuevan el desarrollo sostenible.	El total mundial de emisiones de gases efecto invernadero (GEI).
Silvicultura	Adopción de prácticas de conservación de bosques y de gestión sostenible.	Las emisiones de GEI procedentes de la deforestación.
Electricidad	Adopción de elementos renovables eficaces en costo, programas de gestión orientada a la demanda, y reducción de pérdidas en transmisión y distribución.	Las emisiones de CO ₂ del sector eléctrico.
Importaciones de petróleo	Diversificación de mezclas de combustible importadas y nacionales, y reducción de la intensidad energética de la economía para mejorar la seguridad energética.	Las emisiones de petróleo crudo y de productos importados.
Seguros en los sectores de construcción y transporte	Primas específicas, exclusión de seguros de responsabilidad civil, mejores condiciones para los productos "ecológicos".	Las emisiones de GEI en el sector del transporte y de la construcción.
Finanzas internacionales	Adopción de estrategias y proyectos que reduzcan las emisiones, a nivel del país y de sector.	Las emisiones de países en desarrollo.

Políticas públicas y ciencia del cambio climático

Ni los cambios ni los impactos, por supuesto, serán uniformes en el país. Si bien podemos decir con certeza que la temperatura del planeta se está incrementando, no podemos afirmar con la misma certeza cómo responderá el clima regional a ese calentamiento global, sobre todo en cuanto a la cantidad de precipitación se refiere, pero también a la sensibilidad de los ecosistemas, poblaciones o sistemas productivos de una región determinada.

Por ello, algunas preguntas, entre muchas otras concernientes al problema del cambio climático que deberían ser de interés para todos los niveles del gobierno de México, son: ¿Cuán rápido llegarán esos cambios y cuál será su magnitud? ¿Dónde y cómo impactarán? ¿Cómo podemos prepararnos para enfrentar y minimizar sus efectos adversos? ¿Qué medidas deben ser generales, cuáles regionales y locales? ¿Existen regiones o sectores en México que podrían beneficiarse con el cambio en los patrones climáticos? ¿Cómo distinguir eventos propios de la variabilidad natural de condiciones que ya serán irreversibles por largo tiempo?

Indudablemente, con o sin cambio climático, contar con sistemas de alerta temprana que prevengan de granizadas y lluvias intensas, tornados o la inminente llegada de una sequía prolongada, sería de gran utilidad para los habitantes y serviría para que las autoridades y sectores respectivos tomaran las medidas necesarias en el mediano y largo plazos.

Por ello, es prioritario avanzar en la dirección del desarrollo de la infraestructura necesaria para tener capacidad de pronóstico, en el corto plazo, del estado del tiempo y su evolución en escalas tem-

porales de horas, días y meses. Un aspecto fundamental para lograr lo anterior es reconocer, en primer lugar, que no entendemos los procesos que regulan la evolución del tiempo y el clima en nuestro país, debido, principalmente, a una falta de información planeada y mantenida para ese fin. Después, se debe iniciar un arduo proceso, que incluya colaboraciones con centros de estudios climáticos de primer nivel en el mundo, que conduzca al entendimiento del funcionamiento del clima en el país y permita, primero, simular correctamente su evolución histórica para luego poder mirar hacia el futuro. Si podemos lograr esta tarea, estaremos sentando las bases para contar, en el mediano plazo, con estudios confiables basados en información sólida, cuyos resultados serán indispensables en la planeación de las políticas públicas pertinentes.

En el capítulo anterior se hicieron algunas propuestas tendientes a mejorar la capacidad científica; en realidad, varias de ellas caben también en esta sección. El sistema de información climática observacional y remota debe ser responsabilidad del Estado y trabajar en coordinación con los usuarios, sobre todo científicos, para evaluarlo periódicamente y adecuarlo a los adelantos que en el tema se vayan presentando.

Paralelamente, y en sinergia con el desarrollo de la ciencia del cambio climático en las instituciones académicas, la creación de instancias de investigación dentro del gobierno, previstas por la LGCC, puede lograr una complementación virtuosa con una clara definición de competencias. Las siguientes propuestas se refieren a la necesidad de una instancia de ese tipo, independientemente de si se

conforma dentro de las ya existentes o se crea una nueva.

- a) Creación de una agencia nacional encargada de la planeación, adecuación, integración y mantenimiento de redes de monitoreo de las variables meteorológicas y ambientales necesarias para realizar estudios básicos tendientes a la comprensión del estado del tiempo y el clima, y de su predicción en escalas temporales de meses a décadas, así como de sus posibles impactos.
- b) Creación de un Centro Nacional de Investigaciones Climáticas, cuya finalidad será realizar investigaciones del más alto nivel que nos permitan entender el funcionamiento del clima de nuestro país y nos brinden una base sólida para realizar estimaciones confiables de su estado futuro en las escalas temporales ya mencionadas.
- c) Invertir en la infraestructura necesaria para contar con un sistema de alerta temprana que prevenga de granizadas y lluvias intensas, tornados o de la llegada de una sequía en las diversas zonas del país identificadas como vulnerables ante los efectos del cambio climático.
- d) Establecer mecanismos de evaluación de los resultados de los diagnósticos climáticos y sus proyecciones, generados por el Centro Nacional de Investigaciones Climáticas y por las instituciones académicas, incorporándoles un valor agregado multidisciplinario tendiente a producir información valiosa para todos los

usuarios en política, sociedad, economía y ciencias naturales. Asimismo, establecer los mecanismos de seguimiento de los resultados de la aplicación de las políticas públicas de mitigación y adaptación, de manera que puedan aplicarse los refuerzos o correcciones oportunamente. El plantearse también la revisión de las políticas públicas respecto al uso del territorio, que permitan generar, por ejemplo, nuevas categorías de conservación para zonas productoras de alimentos, tanto terrestres como acuáticas, es un punto clave.

Finalmente, hacemos un par de reflexiones respecto a los mecanismos que permitan una mayor utilidad de las diferentes áreas de la ciencia del cambio climático a la administración pública en sus posicionamientos hacia el exterior. Como se ha mostrado en algunos de los documentos nacionales de México, el apoyo a la investigación tiene que ir más allá de la realización de *ciencia express*, con financiamiento de oportunidad que busca responder preguntas que requieren de un apoyo a la investigación de naturaleza distinta, es decir, institucional y de largo aliento. De lo contrario, la información generada será, en el mejor de los casos, irrelevante para la toma de decisiones y, en el peor, mal informará la toma de decisiones, la creación de política pública y restará fuerza a las posiciones nacionales en el exterior. En el mismo sentido, sería conveniente armonizar el establecimiento de compromisos internacionales en cambio climático con los apoyos públicos a la consolidación y desarrollo de las líneas de investigación correspondientes, anticipando las demandas y permitiendo dar

respuestas más consensuadas entre los especialistas a nivel nacional.

México tiene una larga tradición en política exterior que le permite ser escuchado en diversos foros. Dentro de la academia hay un número creciente de investigadores que pueden dar opiniones fundamentadas con estudios específicos relativas a las negociaciones internacionales en cambio climático. La organización de seminarios conjuntos previos a las reuniones internacionales y un apoyo más decidido a la conformación de grupos de estudios de alto nivel, que integren los intereses nacionales con las posibilidades de influir en el ámbito internacional y detectando alianzas estratégicas, enriquecerían la participación mexicana dándole una coherencia más allá de la situación coyuntural.

Propuestas para el desarrollo de políticas públicas relacionadas con cambio climático y ciencia

- Tener como eje de las políticas de mitigación y adaptación a los impactos del cambio climático la elección de medidas que promuevan un desarrollo sustentable y utilicen el principio precautorio cuando los riesgos de irreversibilidad lo ameriten.
- En las estrategias de mitigación, adoptar alternativas variadas que tomen en cuenta la especificidad de la región o sector de que se trate, y priorizar aquellas que hagan sinergia con estrategias de adaptación o tengan beneficios tanto para la salud humana como para la ambiental. Con esos criterios se deberá calcular el costo-beneficio de cada estrategia.
- Las políticas de adaptación deberán ser construidas con la participación de las poblaciones y sectores involucrados, incorporando el mejor conocimiento científico disponible a los valores culturales locales o regionales.
- Las políticas de adaptación son dependientes del lugar y del impacto específico previsto del cambio climático, por lo que los estudios locales y regionales revisten una importancia fundamental.
- Las políticas públicas sobre cambio climático deben tener objetivos que sean transversales a las diferentes áreas del gobierno, además de ser evaluadas periódicamente y adecuadas al mejor conocimiento disponible para la región y el país.
- Crear una agencia nacional encargada de la planeación, adecuación, integración y mantenimiento de redes de monitoreo de las variables meteorológicas y ambientales, que construyan indicadores de vulnerabilidad, exposiciones e impactos, dando seguimiento a las acciones implementadas frente a éstos.
- Conformar un Centro o Red Nacional de Centros de Investigación Climática que incorporen estudios de vulnerabilidad y adaptación.
- Contar con un sistema de alerta temprana ante eventos extremos.
- Establecer mecanismos de evaluación externa al gobierno para los diagnósticos climáticos y sus proyecciones, así como para el seguimiento de los resul-

tados de la aplicación de las políticas de adaptación y mitigación y su vigencia.

- Desarrollar una política de apoyo a la investigación científica y tecnológica en cambio climático institucional y de

largo aliento con cobertura regional y nacional.

- Impulsar la investigación de alto nivel en política internacional del cambio climático. ☉

ESTIMADO PRESUPUESTAL

En los últimos años ha habido un alud de financiamientos para temas de cambio climático, la mayor parte de fuentes internacionales. Algunos han permitido avances, ya sea en el plano de investigación o en el de gestión, otra parte de los financiamientos ha sido desaprovechada o se ha diluido en acciones o proyectos aislados. Sin embargo, preocupan aquellos que han entrado como grandes préstamos de organismos internacionales al gobierno de México (por ejemplo, a Conagua, a Semarnat y a la Sener) “etiquetados” solamente para inversión y no para investigación o educación y formación de recursos humanos en el tema, con la infraestructura correspondiente. ¿Cómo se van a aplicar millones de dólares sin planes de mediano y largo plazos basados en conocimiento? ¿Quién los va a aplicar si no hemos formado realmente personal calificado en el tema? Si el gobierno mexicano no modifica los términos de los créditos, incluyendo la construcción de capacidades, entonces debería de destinar presupuestos equivalentes para dichos fines, de manera que los recursos externos no acaben siendo poco efectivos para fortalecer al país.

Por otra parte, como ha sucedido con otros asuntos, en cambio climático se corre el riesgo de gastar más en una burocracia internacional que trabaja para reproducirse a sí misma o para distribuir tecnología (como créditos blandos), que no necesariamente es útil ni prioritaria para los problemas del país, aunque permita “palomear” puntos inscritos en nuestros planes de acción climática (varios proyectos de desarrollo limpio, por citar un ejemplo).

Sin menoscabo de la importancia de la colaboración internacional, no es admisible que las universidades sean subcontratadas por consultoras privadas internacionales que carecen del conocimiento necesario para liderar proyectos nacionales, situación que ha quedado patente con estudios fraccionados, sin visión de conjunto ni posibilidades de discusión, evaluación, ni seguimiento a futuro, y cuyos honorarios acaban siendo parte de los préstamos a México. En la mayor parte de los casos, la inclusión de una institución nacional es sólo para cubrir un requisito y el grueso del trabajo ya lo tienen listo, casi a manera de “machote” para el país subdesarrollado del que se trate, sin que las convocatorias sean publicadas nacionalmente.

A nivel gubernamental es necesario tener un presupuesto para cambio climático distribuido transversalmente, de manera que cada secretaría involucrada pueda cumplir con su programa sectorial, además de tener presupuestos específicos para proyectos conjuntos. El problema es que sin planes centrales y de largo plazo que involucren tanto la formación de recursos humanos como el monitoreo, la gestión y la investigación científica y tecnológica, los recursos corren el riesgo de perderse dentro del gasto corriente (o de perderse, nada más).

Los organismos propuestos en los capítulos 5 y 6 pueden centralizar los financiamientos, y junto a instancias como Conacyt, federales y estatales, elaborar un plan estratégico en el tema de cambio climático, de apoyo a la investigación científica e innovación tecnológica de educación a todos los niveles y de una gestión de recursos que construya capacidades a lo largo y ancho del país, incorporando al sector privado, público y social. Contar con una instancia autónoma que vigile y evalúe periódicamente la aplicación de

políticas públicas de mitigación, adaptación y disminución de la vulnerabilidad frente al cambio climático es, a la larga, una estrategia de uso eficiente de los recursos.

La creación de programas nacionales temáticos en que las universidades e instituciones de investigación públicas y privadas actúen conjuntamente para construir alternativas de solución, buscando reunir a los mejores especialistas de cada tema, sería en este momento de nuestro desarrollo mucho más eficaz que ponerlos a competir entre ellos por recursos.

A nivel internacional, México puede ejercer un liderazgo regional organizando un consorcio multinacional de instituciones de investigación, capaz de competir por los recursos financieros internacionales para cambio climático, con una visión regional que tome en cuenta la especificidad de cada país y que construya proyectos con las poblaciones de cada lugar, susceptibles de ser llevados a cabo y con el objetivo de destinar recursos en cada uno de ellos para infraestructura, formación de recursos, investigación y desarrollo en el tema. ©

GLOSARIO

Acidificación del océano. Disminución del pH del agua de mar por incorporación de dióxido de carbono antropógeno.

Adaptación. En este contexto se refiere a las iniciativas, estrategias y acciones para reducir la vulnerabilidad de sistemas humanos y naturales ante los efectos del cambio climático presentes o esperados. De acuerdo con la definición dada en la Ley General de Cambio Climático: *Las medidas y ajustes en sistemas humanos o naturales como respuesta a estímulos climáticos, proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos.*

Aerosol. Conjunto de partículas sólidas o líquidas presentes en el aire, de tamaño generalmente comprendido entre 0.01 y 10 micrómetros (millonésimas de metro), que permanecen en la atmósfera durante varias horas o más. Los aerosoles pueden ser de origen natural o antropógeno. Pueden influir en el clima de varias maneras: directamente, dispersando y absorbiendo radiación, o indirectamente, actuando como núcleos de condensación de nubes o modificando las propiedades ópticas y el periodo de vida de las nubes.

Albedo. Fracción de radiación solar reflejada por una superficie u objeto, frecuentemen-

te expresada en términos porcentuales. El albedo de los suelos puede adoptar valores altos, como en las superficies cubiertas de nieve; o bajos, como en las superficies cubiertas de vegetación y los océanos. El albedo del planeta Tierra varía principalmente en función de la nubosidad, de la nieve, del hielo, de la superficie foliar y de los cambios en la cubierta del suelo.

Antropógeno. Resultante de la actividad del ser humano o producido por éste.

Atmósfera. Envoltura gaseosa que circunda la Tierra. La atmósfera seca está compuesta casi enteramente por nitrógeno (78.1%) y oxígeno (20.9%), más cierto número de gases traza, como el argón (0.93%) o el helio, y ciertos gases de efecto invernadero radiativamente activos, como el dióxido de carbono (coeficiente de mezclado volumétrico: 0.035%) o el ozono. Además, la atmósfera contiene vapor de agua, que es también un gas de efecto invernadero, en cantidades muy variables, aunque, por lo general, con un coeficiente de mezclado volumétrico de 1%, aproximadamente. La atmósfera contiene también nubes y aerosoles.

Biosfera. Parte del sistema Tierra que abarca todos los ecosistemas y organismos vivos

de la atmósfera, de la tierra firme (biosfera terrestre) o de los océanos (biosfera marina), incluida la materia orgánica muerta resultante de ellos, en particular los restos, la materia orgánica del suelo y los detritus oceánicos.

Calentamiento global. Incremento en la temperatura promedio cerca de la superficie de la Tierra, en la capa más baja de la atmósfera. En el lenguaje coloquial, calentamiento global se refiere con frecuencia al calentamiento que ha ocurrido como resultado del incremento de emisiones de gases de efecto invernadero debidos a actividades humanas. El calentamiento global es un tipo de cambio climático y puede conducir también a otras modificaciones en condiciones climáticas como los patrones de precipitación.

Cambio climático. Cambio significativo y persistente en el estado del clima identificable, por ejemplo, mediante pruebas estadísticas. El cambio climático ocurre como respuesta a transformaciones en algunos aspectos del medio ambiente, tales como cambios regulares en la órbita de la Tierra alrededor del Sol, reacomodo de los continentes por el movimiento de placas tectónicas, o modificación antropogénica de la atmósfera, entre otros.

Ciclo del carbón. Circulación de los átomos de carbono a través de los sistemas terrestres, como resultado de la conversión de dióxido de carbono en compuestos orgánicos complejos durante la fotosíntesis. Estos compuestos orgánicos son consumidos por otros organismos y el carbono regresa a la atmósfera en forma de dióxido de carbono como resultado de la respiración, la descomposición de organismos y la quema de combustibles fósiles.

Clima. Promedio de un periodo largo de condiciones en océanos, capas de hielo, glaciares y atmósfera, descritas por cálculos estadísticos tales como medias y extremos. El clima se suele definir en sentido restringido como el estado promedio del tiempo y, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante periodos que pueden abarcar desde meses hasta millares o millones de años. El periodo de promediación habitual es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial.

Combustibles fósiles. Fuentes de energía tales como petróleo, carbón o gas natural, las cuales se derivan de materia viva que existió en un periodo geológico previo.

Escenario. Descripción plausible y frecuentemente simplificada de un futuro verosímil, basada en un conjunto consistente y coherente de supuestos sobre las fuerzas originantes y sobre las relaciones más importantes. Los escenarios pueden estar basados en proyecciones, pero suelen basarse también en datos obtenidos de otras fuentes, acompañados en ocasiones de una descripción textual.

Escenario de emisión. Representación plausible de la evolución futura de las emisiones de sustancias que podrían ser radiativamente activas (por ejemplo, gases de efecto invernadero o aerosoles), basada en un conjunto coherente de supuestos sobre las fuerzas que las determinan (por ejemplo, el desarrollo demográfico y socioeconómico o la evolución tecnológica) y las principales relaciones entre ellas. Los escenarios de concentraciones, obtenidos a partir de unos escenarios de emisión, se introducen

en un modelo climático para obtener proyecciones del clima.

Estado del tiempo. Condiciones específicas de la atmósfera en un lugar y momento determinados, medidas en términos de variables que incluyen temperatura, precipitación, nubosidad, humedad, presión del aire y viento.

Fenología. Estudio de los fenómenos naturales que se repiten periódicamente en los sistemas biológicos (por ejemplo, las etapas de desarrollo o la migración) y de su relación con el clima y con los cambios estacionales.

Hidrosfera. Componente del sistema climático constituido por el agua del planeta en estado líquido. Abarca océanos, mares, ríos, lagos, aguas subterráneas, etcétera.

Mitigación. Es, junto con la adaptación, una de las respuestas para combatir el cambio climático. Consiste en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, las estrategias y acciones para lograrlo.

pH. Unidad sin dimensiones que mide el grado de acidez del agua (o de una solución). El agua pura tiene un pH igual a 7. Las soluciones ácidas tienen un pH inferior a esa cifra, y en las soluciones básicas es superior. El pH se mide con arreglo a una escala logarítmica. Así, cuando el pH disminuye en una unidad, la acidez se multiplica por 10.

Pronóstico del clima. Predicción a largo plazo (de estaciones a décadas) sobre promedios o condiciones climáticas extremas para una región.

Pronóstico del tiempo. Predicción sobre las condiciones atmosféricas específicas que se esperan para un lugar en el corto plazo (horas a días).

Retroalimentación. Proceso a través del cual un sistema es controlado, modificado o modulado en respuesta a su propio rendimiento. Una retroalimentación positiva resulta en la amplificación del rendimiento del sistema; una retroalimentación negativa lo reduce.

Retroalimentación de albedo. Retroalimentación climática que implica cambios en el albedo de la Tierra. Por lo general se refiere a cambios en la criosfera, que tiene un albedo mucho mayor (~0.8) que el albedo planetario promedio (~0.3). En un clima en fase de calentamiento se espera que la criosfera se adelgace, que el albedo total de la Tierra decrezca y que más radiación solar sea absorbida, calentando la Tierra todavía más.

Sistema climático. Comprende la materia, la energía y los procesos implicados en las interacciones entre atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y biosfera, así como en las interacciones Tierra-Sol.

Variabilidad climática. Cambios naturales en el clima que corresponden a los rangos normales de una región particular, medidos por temperatura, precipitación y frecuencia de eventos. Esto incluye fenómenos como *El Niño*, entre otros.

Vulnerabilidad. Grado en que los sistemas biológicos, físicos y socioeconómicos son susceptibles a los efectos adversos del cambio climático y son incapaces de lidiar adecuadamente con ellos. ☺

BIBLIOGRAFÍA

(Se dan sólo las referencias más generales. Para consultar todos los documentos utilizados véase documento en www.atmosfera.unam.mx)

Anderegg, W. R. L. *et al.* (2010), “Expert credibility in climate change”, *PNAS*, 107(27): 12107-12109.

Conde, C. (2010), *México y el cambio climático global. Rumbo a la COP 16*, México, Semarnat/UNAM.

Delgado, G. C., C., Gay, M. Imaz y A. Martínez-Arroyo (coords.) (2010), *México frente al cambio climático: retos y oportunidades*, México, CEIICH-PINCC-PUMA-CCA/UNAM (colección El mundo actual: situación y alternativas).

Doran, P. T. y M. K Zimmerman (2009), “Examining the scientific consensus on climate change”, *Eos Trans AGU*, 90: 22-23. En línea: [<http://thinkprogress.org/romm/issue/>].

Estrada, F. y B. Martínez (2011), *Economía del cambio climático en la Ciudad de México*, México, Centro Virtual de Cambio Climático de la Ciudad de México, ICYT-GGDF/CCA-UNAM.

Estrada, F., B. Martínez-López, C. Conde y C. Gay-García (2012b), “The new National Climate Change Documents of Mexico: What do the Regional Climate Change Scenarios Represent?”, *Climatic Change*, 110(3-4): 1029-1046.

Estrada, F., R. S. J. Tol y C. Gay-García (2011), *A Critique of The Economics of Climate Change in Mexico*. En línea: [http://www.esri.ie/publications/search_for_a_working_pape/search_results/view/index.xml?id=3345].

INE, (2009), *México. Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. En línea: [<http://www.ine.gob.mx>].

_____ (2012), *México. Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. En línea: [<http://www.ine.gob.mx>].

INE-Semarnat (2012), *Adaptación al cambio climático en México: visión, elementos y criterios para la toma de decisiones*, México, INE-Semarnat.

IPCC (2001), *Third Assessment Report. Climate Change: The Physical Science Basis*, Ginebra, IPCC.

_____ (2007), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (edición de S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H. L. Miller), Cambridge, Cambridge University Press.

_____ (2007b), *Cambio climático 2007: informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al IV. Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (edición de R. K. Pachauri, A. Reisinger). En línea: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf].

Semarnat/SHCP (2009), *La economía del cambio climático en México*, México, Semarnat/SHCP.

Thomas R., Karl, Susan J. Hassol, Christopher D. Miller y William L. Murray (eds.) (2006), *Temperature Trends in the Lower Atmosphere: Steps for Understanding and Reconciling Differences. A Report by the Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research*, Washington, D. C., United States House of Representatives.

UNESCO (2005), *Informe del grupo de expertos sobre el principio precautorio de la Comisión Mundial de Ética del Conocimiento Científico y la Tecnología (Comest)*, París, UNESCO.

UNFCCC (1992), *United Nations Framework Convention on Climate Change*. En línea: [<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>], consultado en octubre de 2012. ©

EQUIPO EJECUTIVO



COORDINADOR GENERAL

José Franco

Presidente de la Academia Mexicana de Ciencias

AMC

Axelle Roze | Emilede Velarde | Fabiola Trelles | Javier Flores | Renata Villalba | Rocío Méndez.



DGDC

Addina Cuervo | Adriana Bravo | Adriana García | Adriana Rayón | Alberto Rentería | Alejandra Noguez | Aline Juárez | Ángel Figueroa | Arturo Orta | Claudia Juárez | Cristina Martínez | Denisse Osuna | Enrique Jiménez | Ernesto Navarrete | Esteban Estrada | Guillermo Castañeda | Iván Pacifuentes | Jareni Ayala | José Luis Vázquez | Juan Carlos Piña | Laura Rojas | Leticia Chávez | Manuel Amaya | Manuel Comi | Mara Salazar | Marcela Martínez | María Elena Arcos | Mariana Fuentes | Mónica Genis | Pablo Flores | Paulina Trápaga | Pedro Sierra | Ramón Cervantes | Ricardo Pacheco | Rogelio Carballido | Rolando Ísita | Rosa Isela Percastre | Rosanela Álvarez | Silvia San Miguel | Susana Trejo | Teresa Segura | Teresita Mendiola | Tlanex Valdés | Vanessa Rendón.



UDUAL

Alfredo Camhaji | Junior Mendoza | Luis Felipe Flores | Luis Fernando Rodríguez | Marco Antonio Villegas | Olivia González | Roberto Escalante Semerena.



3CIN

Ana Victoria Pérez | Laura Villavicencio | Miguel Ángel Quintanilla.



CÁMARA DE SENADORES

Jesús Ramírez.



José Antonio Esteva Maraboto (consultor).

Instituciones participantes en la Agenda Ciudadana de Ciencia, Tecnología e Innovación

Academia Mexicana de Ciencias (AMC)

Dr. José Franco, Presidente

Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES)

Dr. Rafael López Castañares, Expresidente

Asociación Mexicana de Museos y Centros de Ciencia y Tecnología (AMCCYT)

Dra. Rosario Ruiz Camacho, Presidenta

Cámara de Diputados

Diputado Rubén Benjamín Félix Hays,
Presidente de la Comisión de Ciencia y Tecnología de la LXII Legislatura

Cámara de Senadores

Sen. Francisco Javier Castellón Fonseca,
Expresidente de la Comisión de Ciencia y Tecnología de la LXI Legislatura

Sen. Alejandro Tello Cristerna,
Presidente de la Comisión de Ciencia y Tecnología de la LXII Legislatura

Sen. Juan Carlos Romero Hicks,
Presidente de la Comisión de Educación de la LXII Legislatura

Centro de Investigación de Estudios Avanzados (Cinvestav)

Dr. René Asomoza Palacio, Director General

Consejo Consultivo de Ciencias (ccc)

Dr. Jorge Flores Valdés, Coordinador General

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt)

Dr. José Enrique Villa Rivera, Exdirector

Dr. Enrique Cabrero Mendoza, Director

Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCYT)

Dra. Gabriela Dutrénit Bielous, Coordinadora General

Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECYT)

Dr. Hugo René Andrade Jaramillo, Decano

Fundación 3CIN (España)

Dr. Miguel Ángel Quintanilla Fisac, Director

Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal (icyTDF)

Dr. Julio Mendoza Álvarez, Exdirector

Instituto Politécnico Nacional (IPN)

Dra. Yoloxóchitl Bustamante Díez, Directora

Noche de las estrellas

Lic. Emilede Velarde, Responsable

Programa Delfin

Carlos Humberto Jiménez González, Coordinador General

Red de las Alianzas Francesas en México (AF)

Dr. Philippe Palade, Delegado General

**Red Nacional de Consejos y Organismos Estatales de Ciencia
y Tecnología (RedNACEYT)**

Dr. Tomás González Estrada, Presidente

**Sociedad Mexicana para la Divulgación de la Ciencia
y la Tecnología, A. C. (Somedicyt)**

Dra. Elaine Reynoso Haynes, Presidenta

Unión de Universidades de América Latina y el Caribe (UDUAL)

Dr. Roberto Escalante Semerena, Secretario General

Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)

Dr. Enrique Fernández Fassnacht, Exrector General

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Dr. José Narro Robles, Rector

Aguascalientes

CIMAT Aguascalientes.
CIO Aguascalientes.
Subsede del CIATEQ, Aguascalientes.
Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Baja California

El Trompo, Museo Interactivo, Tijuana.
Fundación que Transforma, Tijuana.
Subsede del CICESE, Tijuana.
Universidad Autónoma de Baja California.

Baja California Sur

Consejo Sudcaliforniano de Ciencia y Tecnología.
Museo Sol del Niño.
Subsede del CIBNOR, Guerrero Negro.
Subsede del CICESE, La Paz.
Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Campeche

Casa de la Tecnología DGETI-SECUD.
Subsede del COMIMSA, Ciudad del Carmen.
Subsede del ECOSUR, Campeche.
Universidad Autónoma de Campeche.

Coahuila

Centro Cultural Multimedia 2000, A. C.
Museo del Desierto.
Museo de los Metales Peñoles.
Subsede del COMIMSA, Monclova.
Universidad Autónoma de La Laguna.

Colima

Instituto Tecnológico de Colima.
Museo Interactivo "Xoloitzcuintle".
Universidad de Colima.

Chiapas

Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Chiapas.
Instituto Tecnológico de Tapachula.
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
Museo Chiapas de Ciencia y Tecnología, Tuxtla Gutiérrez.
Subsede del CIESAS, San Cristóbal de las Casas.
Subsede del ECOSUR, San Cristóbal de las Casas.
Universidad Autónoma de Chiapas.

Chihuahua

Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez.
Semilla Museo, Centro de Ciencia y Tecnología de Chihuahua.
Subsede del CIAD, Delicias.
Subsede del CIAD, Cuauhtémoc.
Subsede de EL COLEF, Ciudad Juárez.
Subsede del INECOL, Ciudad Aldama.
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Distrito Federal

Academia de Ciencias Administrativas, A. C.
Agua.org.mx.
Centro de Difusión de Ciencia y Tecnología del IPN, Tezozómoc.
Colegio de Ciencias y Humanidades.
El Colegio de México.
Escuela Nacional Preparatoria 1.
Escuela Nacional Preparatoria 2.
Escuela Nacional Preparatoria 3.
Escuela Nacional Preparatoria 4.
Escuela Nacional Preparatoria 5.
Escuela Nacional Preparatoria 6.
Escuela Nacional Preparatoria 7.
Escuela Nacional Preparatoria 8.
Escuela Nacional Preparatoria 9.
Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
Fundación del Centro Histórico de la Ciudad de México, A. C.
Museo del Instituto de Geología, UNAM.
MUTEC, Museo Tecnológico de la CFE.
Subsede del CICESE, Distrito Federal.
Subsede de EL COLEF, Distrito Federal.
Universidad Anáhuac.
Universidad Panamericana, Campus Ciudad de México.

Durango

Bebeleche, Museo Interactivo de Durango.
Subsede del INECOL, Durango.
Universidad Autónoma de Durango.

Estado de México

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
Instituto Tecnológico de Tlalnepantla.
Instituto Tecnológico de Toluca.
Museo Modelo de Ciencias e Industrias, A. C., Toluca.
Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco.

Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán.
Universidad Autónoma del Estado de México.
Universidad de Ixtlahuaca.
Universidad Politécnica de Tecámac.
Universidad Politécnica del Valle de Toluca.
Universidad Tecnológica de Nezahualcóyotl.

Guanajuato

Centro de Ciencias Explora.
Instituto Tecnológico de Celaya.
Universidad Centro de Estudios Cortázar.
Universidad de Guanajuato.

Guerrero

Instituto Tecnológico de Acapulco.
Instituto Tecnológico de Iguala.
Museo Interactivo “La Avispa”.
Universidad Autónoma de Guerrero.

Hidalgo

Museo “El Rehilete”, Pachuca.
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
Universidad Tecnológica de Tulancingo.

Jalisco

CIATEC Guadalajara.
Museo de Ciencia y Tecnología “Guillermo Santoscoy Gómez”.
Subsede del CIESAS, Guadalajara.
Trompo Mágico, Museo Interactivo, Zapopan.
Universidad Autónoma de Guadalajara.
Universidad de Guadalajara.
Zig-zag Centro de Ciencias Interactivo.

Michoacán

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Zamora.
Instituto Tecnológico de Jiquilpan.
Instituto Tecnológico de La Piedad.
Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas.
Instituto Tecnológico de Morelia.
Instituto Tecnológico del Valle de Morelia.
Instituto Tecnológico de Zitácuaro.
Instituto Tecnológico Superior de Apatzingán.
Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Hidalgo.
Instituto Tecnológico Superior de Huetamo.
Instituto Tecnológico Superior de Los Reyes.
Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro.
Instituto Tecnológico Superior de Puruándiro.

Instituto Tecnológico Superior de Tacámbaro.
Instituto Tecnológico Superior de Uruapan.
Instituto Tecnológico Superior Purépecha.
Subsede del COLMICH, La Piedad.
Subsede del INECOL, Pátzcuaro.
Universidad de La Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo.
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
Universidad Tecnológica de Morelia.

Morelos

Instituto Nacional de Salud Pública.
Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
Universidad Politécnica de Morelos.

Nayarit

Instituto Las Américas de Nayarit.
Instituto Tecnológico de Bahía de Banderas.
Instituto Tecnológico de Tepic.
Universidad Autónoma de Nayarit.
Universidad del Valle de Matatipac, S. C.
Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas.
Universidad Vizcaya de Las Américas.

Nuevo León

Horno 3, Museo del Acero.
Planetario Alfa.
Subsede del CICESE, Monterrey.
Subsede del CIESAS, Monterrey.
Subsede de EL COLEF, Monterrey.
Universidad Autónoma de Nuevo León.

Oaxaca

Museo del Palacio.
Subsede del CIESAS, Oaxaca.
Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca.

Puebla

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
Colegio México, Tehuacán.
Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango.

Querétaro

Subsede del CIATEQ, El Marqués.
Universidad Autónoma de Querétaro.

Quintana Roo

Instituto Tecnológico de Cancún.
Subsede del CICY, Cancún.
Subsede del ECOSUR, Chetumal.

San Luis Potosí

CIDESI San Luis Potosí.
CIQA San Luis Potosí.
Museo Laberinto de las Ciencias y las Artes.
Subsede del CIATEQ, San Luis Potosí.

Sinaloa

Centro de Ciencias de Sinaloa.
Instituto Tecnológico de Culiacán.
Instituto Tecnológico de Los Mochis.
Instituto Tecnológico de Mazatlán.
Instituto Tecnológico Superior de Eldorado.
Instituto Tecnológico Superior de Guasave.
Instituto Tecnológico Superior de Sinaloa, A. C.
Subsede del CIAD, Culiacán.
Subsede del CIAD, Mazatlán.
Universidad Autónoma de Sinaloa.
Universidad Autónoma Indígena de México.
Universidad de Occidente.
Universidad Politécnica de Sinaloa.

Sonora

Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora.
El Colegio de Sonora.
INAOE, Cananea.
Instituto Tecnológico Superior de Cajeme.
“La Burbuja”, Museo del Niño.
Subsede del CIAD, Guaymas.
Subsede del CIBNOR, Guaymas.
Subsede del CIBNOR, Hermosillo.
Universidad de Sonora.
Universidad Estatal de Sonora.

Tabasco

Instituto Tecnológico Superior de Los Ríos.
Subsede del CIATEQ, Villahermosa.
Subsede del COMIMSA, Villahermosa.
Subsede del ECOSUR, Villahermosa.
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Tamaulipas

Subsede de EL COLEF, Matamoros.
Subsede de EL COLEF, Nuevo Laredo.
Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Tlaxcala

Universidad Autónoma de Tlaxcala.

Veracruz

Instituto Tecnológico Superior de Cosamaloapan.
Museo Interactivo de Xalapa-MIX.
Subsede del CIESAS, Xalapa.
Universidad Veracruzana.

Yucatán

Subsede del CIESAS, Mérida.
Universidad Autónoma de Yucatán.

Zacatecas

Instituto Tecnológico Superior de Fresnillo.



AGENDA CIUDADANA
CAMBIO
CLIMÁTICO

pertenciente a la *Agenda Ciudadana de Ciencia, Tecnología e Innovación*, fue editado por la Academia Mexicana de Ciencias, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, y la Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM.

Se terminó de imprimir en el mes de diciembre de 2013 en los talleres de Grupo San Jorge, ubicados en Antonio Plaza 50, Col. Algarín, México, D. F.

En su composición se utilizaron tipos de la familia Thesis de 10/13 puntos.
Fue impreso en offset sobre papel couché mate de 150 gramos.
El tiraje constó de 1 500 ejemplares.

El cuidado de la edición estuvo a cargo de Rosanela Álvarez R.





CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático va más allá de las variaciones normales del clima en las distintas regiones y épocas del año. Es resultado de alteraciones en la atmósfera como consecuencia de la tala inmoderada, el rápido cambio del uso del suelo, la actividad industrial, ganadera y del transporte, entre otros factores.

Modificar los patrones del clima provoca que se empiecen a desacoplar muchas de las funciones de los seres vivos en los ecosistemas. El clima tiene que ver con prácticamente todas las actividades humanas y su alteración aumenta el riesgo en la ocurrencia de desastres.

La ciencia nos permite conocer el funcionamiento de nuestro planeta y relacionar este conocimiento para organizarnos y actuar. La tecnología y la innovación pueden contribuir a desarrollar estrategias y recursos para enfrentar este reto.

