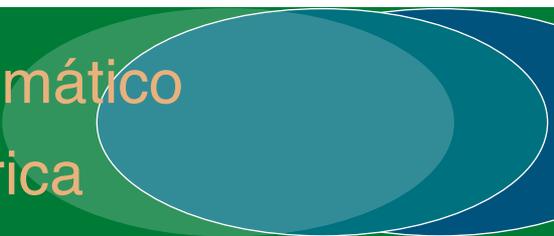


Serie técnica  
Informe técnico No. 383

# ABC

## del cambio climático en Mesoamérica



Miguel Cifuentes Jara

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)  
Programa Cambio Climático  
Turrialba, Costa Rica  
2010

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros son el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela y España.

© Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, 2010

ISBN 978-9977-57-528-5

363.73874

C569 Cifuentes Jara, Miguel

ABC del cambio climático en Mesoamérica / Miguel Cifuentes Jara. –  
1ª ed. – Turrialba, C.R : CATIE, 2010  
71 p. : il. – (Serie técnica. Informe técnico / CATIE ; no.383)

ISBN 978-9977-57-528-5

1. Cambio climático – Mesoamérica  
2. Cambio climático – Impacto ambiental – Mesoamérica I. CATIE  
II. Título III. Serie.

## **Créditos**

### **Edición técnica**

Enric Aguilar, Ph.D.

Grupo de Investigación en Cambio Climático

Departamento de Geografía

University Rovira i Virgili de Tarragona

Av. Cataluña, 35

43002, Tarragona

España

Vicтор Orlando Magaña Rueda, Ph.D.

Centro de Ciencias de la Atmósfera

Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad Universitaria

Ciudad de México 04510

México

### **Edición**

Elizabeth Mora

### **Corrección de estilo**

Joselyne Hoffmann

Cynthia Mora

### **Diseño**

Rocío Jiménez Salas

### **Traducción**

Christina Feeny

## Contenido

<b>Presentación</b> .....	5
<b>Conceptos claves del cambio climático global</b> .....	7
El clima y el efecto invernadero .....	7
Cambio climático .....	8
Variación natural del clima .....	9
Movimientos planetarios .....	9
Radiación solar .....	10
Erupciones volcánicas .....	11
Influencia humana sobre el clima .....	11
Gases de efecto invernadero (GEI) .....	11
Aerosoles .....	13
La inequívoca acción humana .....	14
Evidencia del cambio climático .....	15
Temperatura .....	15
Precipitación .....	18
Cambios en los océanos .....	18
Cobertura de hielo y nieve .....	20
Eventos extremos .....	20
Escenarios climáticos .....	22
Los escenarios de emisiones de CO <sub>2</sub> del IPCC .....	22
La importancia de considerar varios escenarios .....	24
Proyecciones de cambios futuros en el clima .....	25
Áreas de incertidumbre en las predicciones .....	27
<b>Clima en Mesoamérica</b> .....	29
Patrones históricos del clima .....	29
Precipitación .....	29

Temperatura .....	31
Cambios observados en variables climáticas .....	31
Escenarios climáticos para Mesoamérica .....	35
Cambios esperados en la temperatura y la precipitación .....	36
<b>Efectos del cambio climático en Mesoamérica .....</b>	<b>41</b>
Recursos hídricos .....	44
Biodiversidad .....	45
Índice de severidad del cambio climático .....	48
Ecosistemas terrestres .....	49
Ecosistemas acuáticos .....	52
Sistemas de agua dulce .....	52
Manglares y arrecifes de coral .....	53
Zonas costeras .....	54
Pesquerías .....	55
Agricultura y ganadería .....	56
Generalidades del sector .....	56
Cambios en la producción .....	57
Salud humana .....	59
Desastres .....	61
Otros sectores .....	63
<b>Bibliografía .....</b>	<b>65</b>
<b>Anexo 1 .....</b>	<b>75</b>
<b>Anexo 2 .....</b>	<b>82</b>

## Presentación

La acción humana ha alterado el funcionamiento natural del sistema climático del planeta Tierra. Los posibles efectos son variados y afectan a todos los sectores. La magnitud de los cambios y la limitada capacidad de respuesta convierten a Mesoamérica en el área más vulnerable ante el cambio climático en la región tropical. Ante esta amenaza, se requiere información de alta calidad que permita comprender el alcance de los posibles efectos del cambio climático y diseñar estrategias para enfrentarlos.

El objetivo de este documento es proporcionar información científica actualizada para apoyar la elaboración de la Estrategia Regional de Cambio Climático para Centroamérica y República Dominicana. Se espera que la estrategia oriente las acciones de sectores, instituciones y organizaciones (gubernamentales, privadas y civiles) y logre una respuesta más efectiva a los impactos del cambio climático. Además, servirá para que los países de la región se posicionen en el proceso global de discusiones y negociaciones sobre el cambio climático.

Este documento consta de tres partes. Primero se describen los procesos generadores del clima en la Tierra, el papel que juega la influencia humana sobre el clima, la evidencia científica de los cambios climáticos y una discusión de los llamados escenarios climáticos. La segunda parte resume los patrones históricos del clima para la región, los cambios observados en las últimas décadas y las predicciones a futuro. Finalmente, se sintetizan los posibles efectos del cambio climático sobre los que, según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) serían los sectores más afectados de la sociedad.



# 1

## Conceptos claves del cambio climático global

### El clima y el efecto invernadero

El clima se define como el conjunto de estados y cambios de las condiciones atmosféricas observadas en un área determinada durante un período de al menos 30 años. Las condiciones promedio, además de su variabilidad y los eventos extremos de precipitación, temperatura, viento, presión atmosférica, constituyen expresiones del clima de una región. El clima de un lugar es un fenómeno dinámico, sujeto a variabilidad y cambio.

La radiación solar es la fuente principal de energía para el sistema climático del planeta. Más específicamente, el equilibrio (conocido como “balance radiativo”) entre la energía recibida del sol y la reemitida por nuestro planeta es el principal mecanismo que genera el clima de la Tierra. Para equilibrar la cantidad de energía recibida, la Tierra debe irradiar aproximadamente la misma cantidad de energía recibida de vuelta al espacio. Esto ocurre en forma de energía de onda larga, conocida también como radiación térmica. Aproximadamente un 30% de la energía solar que llega a nuestro planeta es reflejado directamente de vuelta al espacio por las capas más altas de la atmósfera y por superficies con un albedo<sup>1</sup> alto, como las cubiertas de hielo y nieve. Los restantes dos tercios de la energía incidente son absorbidos por la superficie terrestre y por la atmósfera.

---

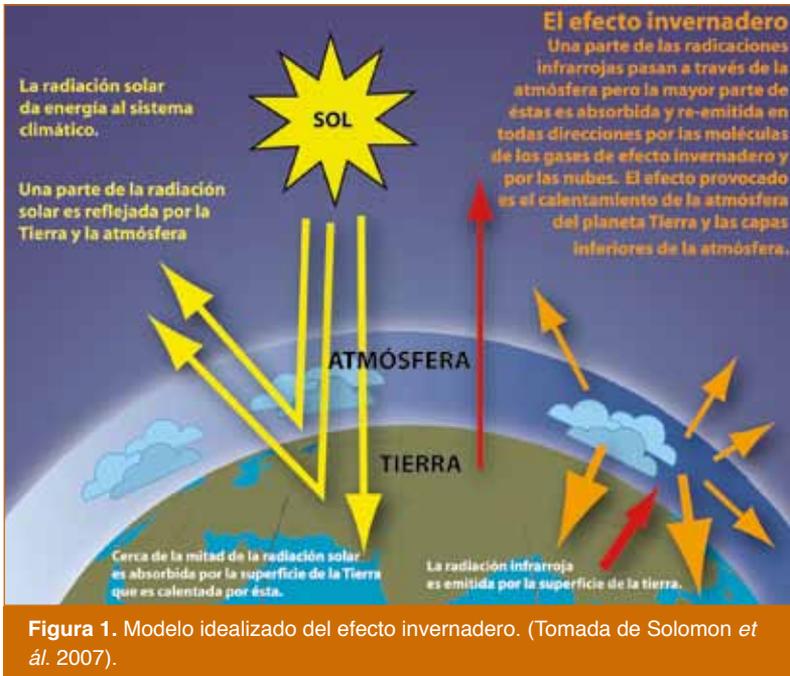
<sup>1</sup> Albedo es una medida de la proporción, en porcentaje, de la radiación reflejada respecto de la radiación incidente sobre un objeto.

Algunos gases en la atmósfera absorben gran cantidad de la radiación térmica emitida por la superficie del planeta y la irradian nuevamente hacia la Tierra. A este fenómeno natural se le conoce como el “efecto invernadero”, el cual tiene como resultado calentar la superficie del planeta (Figura 1). De no existir el efecto invernadero natural, la temperatura de la superficie terrestre sería de  $-18^{\circ}\text{C}$  y fluctuaría fuertemente entre el día y la noche. De esta forma, el efecto invernadero natural facilita las condiciones de vida actuales en la Tierra.

Los gases traza atmosféricos que contribuyen directamente al efecto invernadero son comúnmente llamados “gases de efecto invernadero” (GEI). Los principales GEI que contribuyen al calentamiento global son el vapor de agua y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Otros GEI importantes son el metano ( $\text{CH}_4$ ), el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y el ozono ( $\text{O}_3$ ). Las actividades humanas han aumentado las concentraciones de dióxido de carbono, metano y clorofluorocarbonos en la atmósfera. Esto intensifica el efecto invernadero y, con ello, aumenta la temperatura de la superficie del planeta.

## Cambio climático

El clima varía con el tiempo bajo la influencia de mecanismos internos propios (tales como El Niño/Oscilación del Sur) y de factores externos conocidos como ‘forzamientos radiativos’ naturales. Entre los forzamientos externos naturales más importantes se encuentran las variaciones de la actividad solar, los movimientos planetarios, las erupciones volcánicas y los cambios en la composición de la atmósfera. Recientemente, los científicos han determinado que las actividades humanas, específicamente el aumento en las concentraciones de GEI en la atmósfera, se han convertido en un forzamiento externo dominante sobre el clima; de hecho, este es el responsable de la mayor parte del calentamiento observado en los últimos 50 años. Este fenómeno es lo que se conoce popularmente como “calentamiento global” o, más ampliamente al incluir otros efectos, como “cambio climático”.



La definición de cambio climático del IPCC no distingue entre las causas naturales o antropogénicas del cambio. En cambio, el Artículo 1 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 1992) lo describe como “un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que viene a sumarse a la variabilidad climática natural observada”.

## Variación natural del clima

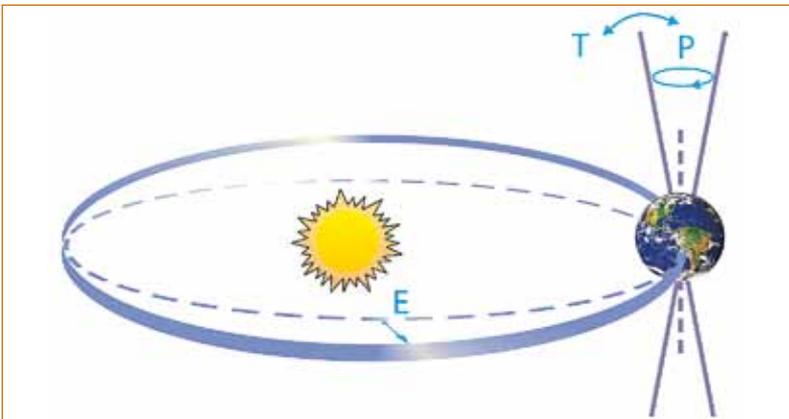
### Movimientos planetarios

Antes de la existencia del ser humano, el equilibrio energético del planeta, y por tanto del clima, era afectado por diversas causas naturales. Evidencias importantes indican que las eras glaciales se producen periódicamente y que están vinculadas a cambios en la órbita terrestre. La periodicidad de estos cambios se conoce como

“ciclos Milankovitch” (Figura 2), los cuales consisten de variaciones regulares (en el orden de los cientos de miles de años) en la excentricidad de la órbita terrestre alrededor del Sol, y cambios en la oblicuidad<sup>2</sup> y la precesión<sup>3</sup> de la Tierra. Estas variaciones en el comportamiento planetario cambian la cantidad de radiación solar recibida por el planeta a diferentes latitudes, lo que provoca cambios drásticos en el clima global.

### Radiación solar

La variación en la cantidad de energía producida por el Sol es otra causa probable de cambios climáticos. Por ejemplo, por medio de observaciones de las manchas solares y de datos de isótopos producidos por



**Figura 2.** Esquema de los cambios orbitales de la Tierra (ciclos Milankovitch) que provocan los ciclosglaciales. La T se refiere a cambios en la inclinación (u oblicuidad) del eje de la Tierra y la E se refiere a cambios en la excentricidad de la órbita. La P denota la precesión, es decir, el cambio en la dirección de la inclinación del eje en un punto dado de la órbita. Tomado de Solomon *et ál.* (2007).

- 2 Oblicuidad: inclinación del eje de rotación de la Tierra con respecto al plano de su órbita alrededor del Sol.
- 3 Precesión: movimiento oscilatorio, alrededor de su eje, que manifiesta un cuerpo que gira.

la radiación cósmica, se ha determinado que la radiación solar varía cerca de 0,1% en ciclos cortos de 11 años. Sin embargo, aún se desconoce cuál es el impacto de tales variaciones periódicas sobre cambios en la irradiación solar. En teoría, los cambios en la actividad solar afectan el clima directamente al variar la cantidad de energía que llega al planeta. La radiación solar también afecta la concentración de algunos gases de efecto invernadero, como el ozono estratosférico.

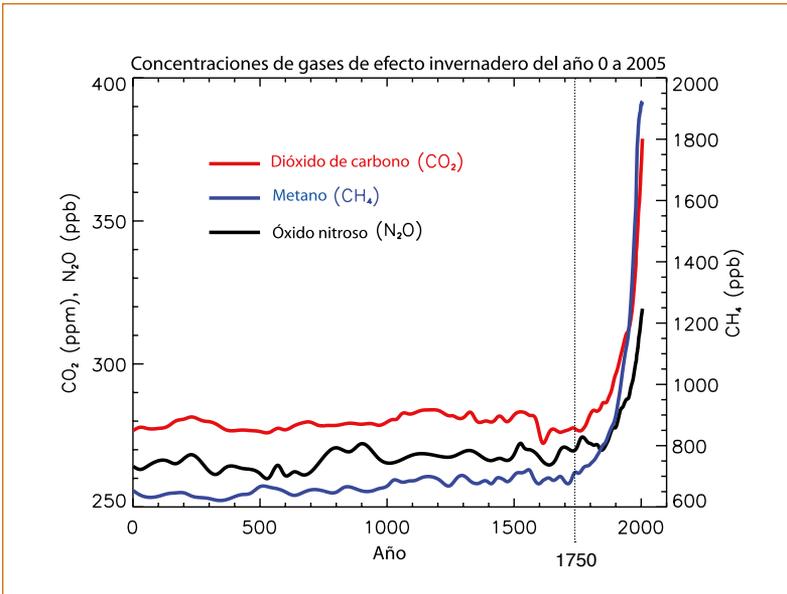
### **Erupciones volcánicas**

Las erupciones volcánicas catastróficas tienen la capacidad de reducir la temperatura global. Cuando ocurre una erupción volcánica explosiva se expulsa gran cantidad de cenizas, polvo y sulfatos en aerosol a la estratósfera. Estos materiales forman una especie de escudo natural que refleja la radiación solar de vuelta al espacio, antes que ésta llegue a la superficie del planeta, por lo que la temperatura disminuye. Este efecto de enfriamiento es de corta duración (dos a tres años), tal como ocurrió después de las erupciones del Monte Agung, Bali, en 1963, el Volcán Chichón, México, en 1983 y del Monte Pinatubo, Filipinas, en 1991.

Incluso el hollín expulsado por la quema de los pozos petroleros en Kuwait parece haber disminuido la cantidad de radiación solar que llegaba a la superficie terrestre en ese momento. Esto tuvo como consecuencia ligeras disminuciones en la temperatura del planeta por unos cuantos meses.

### **Influencia humana sobre el clima**

Los cambios climáticos producidos por el ser humano son principalmente el resultado del aumento en las concentraciones de GEI en la atmósfera (Figura 3), y de cambios en la cantidad de aerosoles (pequeñas partículas) que flotan en la atmósfera. Estos cambios tienen la capacidad de alterar el balance de energía del planeta y aumentar o disminuir la temperatura.



**Figura 3.** Concentraciones de gases de efecto invernadero en los últimos 2000 años. Los incrementos experimentados desde 1750 se atribuyen a las actividades humanas de la era industrial. Las unidades de concentración se miden en partes por millones (ppm) o partes por miles de millones (ppb). Adaptada de Solomon *et ál.* (2007).

### Gases de efecto invernadero (GEI)

La actividad humana resulta en la emisión de varios gases de efecto invernadero. Los principales son: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y halocarbonos (gases que contienen flúor, cloro y bromo). La cantidad de GEI emitida por actividades humanas aumentó en un 70% entre 1970 y 2004. Las concentraciones atmosféricas actuales de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O superan por mucho los valores preindustriales. En 2005, las concentraciones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> excedieron los valores naturales de los últimos 650.000 años. El aumento en la concentración de estos gases en la atmósfera tiene como consecuencia un incremento en la temperatura.

El dióxido de carbono es el GEI más importante debido a la gran cantidad que se ha liberado en la atmósfera. Hasta 1970, había ocurrido un aumento global de unas 100 ppmv (partes por millón en volumen) desde el inicio de la revolución industrial y la economía basada en la quema de combustibles fósiles. Sin embargo, entre 1970 y 2004, las emisiones anuales de  $\text{CO}_2$  aumentaron en un 80%. Aproximadamente un 75% del  $\text{CO}_2$  ha aumentado debido al uso de combustibles fósiles (proveniente principalmente del sector de transporte) y la fabricación de cemento. El  $\text{CO}_2$  restante proviene de procesos de deforestación y cambios en el uso del suelo, que también liberan  $\text{CO}_2$  y disminuyen la cantidad de este gas que los bosques podrían secuestrar. Las tasas de aumento actual de  $\text{CO}_2$  (al igual que las de óxido nitroso y metano) no tienen precedentes, al menos en los últimos 16.000 años. Actualmente, la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera alcanza 384 ppm y no muestra señales de disminución ni estabilización (Figura 3). Este valor excede el rango de la variabilidad natural conocida en los últimos 650.000 años.

El  $\text{CH}_4$  es el segundo gas de efecto invernadero más importante. Se libera principalmente como resultado de procesos anaeróbicos en el sector agrícola, la producción de gas natural y durante el tratamiento de desechos en rellenos sanitarios. La concentración de  $\text{CH}_4$  en la atmósfera aumentó de 715 ppm, antes de la era industrial, hasta alcanzar 1.774 ppm en 2005 (Figura 3). El  $\text{N}_2\text{O}$  se emite por el uso de fertilizantes y la quema de combustibles fósiles, aunque también se libera a través de procesos naturales. El  $\text{N}_2\text{O}$  atmosférico aumentó de 270 a 319 ppm entre 1750 y 2005 (Figura 3). Finalmente, los clorofluorocarbonos (un tipo de halocarbonos) son gases enteramente fabricados por los humanos que no existían en la naturaleza.

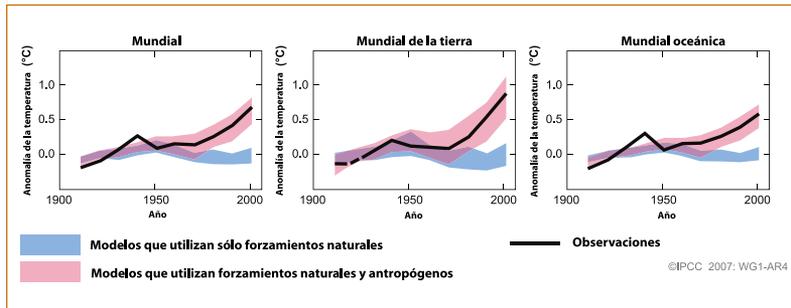
### **Aerosoles**

Los aerosoles son partículas muy pequeñas (entre  $0,07 \mu\text{m}$  y  $20 \mu\text{m}$ , dependiendo de su origen) que se encuentran suspendidas en la atmósfera. Los aerosoles varían muchísimo en cuanto a su concentración, composición química y tamaño, y pueden ser de origen natural

o antropogénico. La quema de combustibles fósiles y de biomasa ha aumentado la cantidad de aerosoles de azufre, compuestos orgánicos y hollín (también llamado “carbón negro”) en la atmósfera. La minería y otros procesos industriales liberan cantidades adicionales de aerosoles y polvo. En general, los aerosoles producen una disminución en la temperatura terrestre porque reflejan la radiación solar. Por ejemplo, la aceleración industrial posterior a la Segunda Guerra Mundial aumentó la contaminación atmosférica del hemisferio norte y causó una disminución de la temperatura aproximadamente entre 1940 y 1970 (Figuras 4 y 6).

### La inequívoca acción humana

Es muy probable (el Anexo 2 contiene definiciones específicas acerca de los enunciados de incertidumbre del IPCC) que el aumento en las concentraciones de los GEI en la atmósfera desde el inicio de la era industrial (alrededor de 1750) haya producido un efecto neto de aumento de la temperatura. Se han realizado numerosos experimentos utilizando diversos modelos climáticos para determinar las causas probables de los cambios climáticos ocurridos en el siglo XX.



**Figura 4.** Cambios de temperatura (°C) en comparación con la media correspondiente al período 1901-1950, de un decenio a otro, de 1906 a 2005. La línea negra indica los cambios de temperatura observados y las bandas de colores muestran el rango combinado cubierto por el 90% de las simulaciones de modelos recientes. El color rojo indica las simulaciones que incluyen factores naturales y humanos; el azul indica las simulaciones que sólo incluyen los factores naturales. Adaptada de Solomon *et ál.* (2007).

Los resultados de estos experimentos indican que los forzamientos naturales (irradiación solar, aerosoles provenientes de erupciones volcánicas), por sí solos, no son suficientes para explicar las tendencias de aumento de temperatura de la Tierra. Solamente, incluyendo la influencia humana dentro de los modelos se pueden explicar las tendencias observadas (Figura 4).

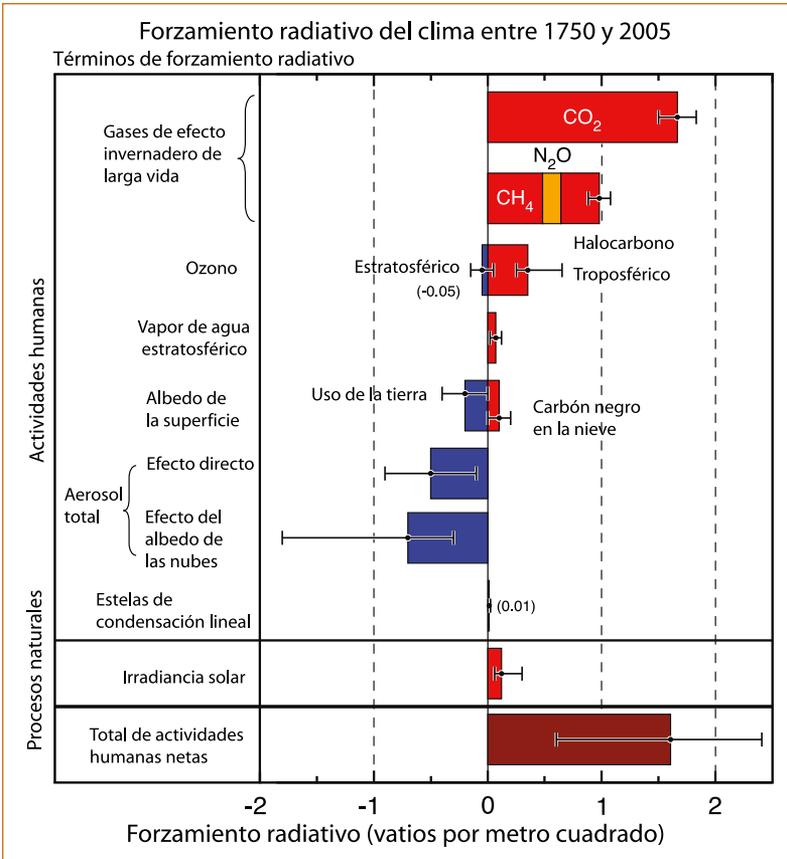
La influencia humana excede considerablemente la intensidad de cualquier forzamiento natural que podría de otra forma controlar el clima (Figura 5). Se estima que, aunque el ser humano reduzca drásticamente las emisiones de GEI, el calentamiento global proseguiría más rápidamente de lo que se ha experimentado en los últimos 10.000 años. Esto se debe a que la influencia de los GEI sobre el equilibrio energético del planeta persiste durante muchísimo tiempo. En otras palabras, hay suficiente evidencia científica para afirmar que el calentamiento global observado recientemente es producto de la acción humana.

## Evidencia del cambio climático

El calentamiento de los océanos y de la superficie terrestre, los cambios en los patrones de distribución e intensidad de la precipitación, el incremento del nivel del mar, el derretimiento de los glaciares, el desplazamiento del hielo marino en el Ártico y la disminución de la capa de nieve en el hemisferio norte son fenómenos que confirman el calentamiento de la superficie del planeta. Los cambios observados no ocurren de forma uniforme alrededor de todo el planeta. Por ejemplo, debido a factores locales, es posible encontrar áreas del mundo donde la temperatura ha disminuido, aunque el promedio global está en aumento. Esto es consistente con el comportamiento del clima a menores escalas espaciales y no es suficiente para negar el calentamiento a nivel global.

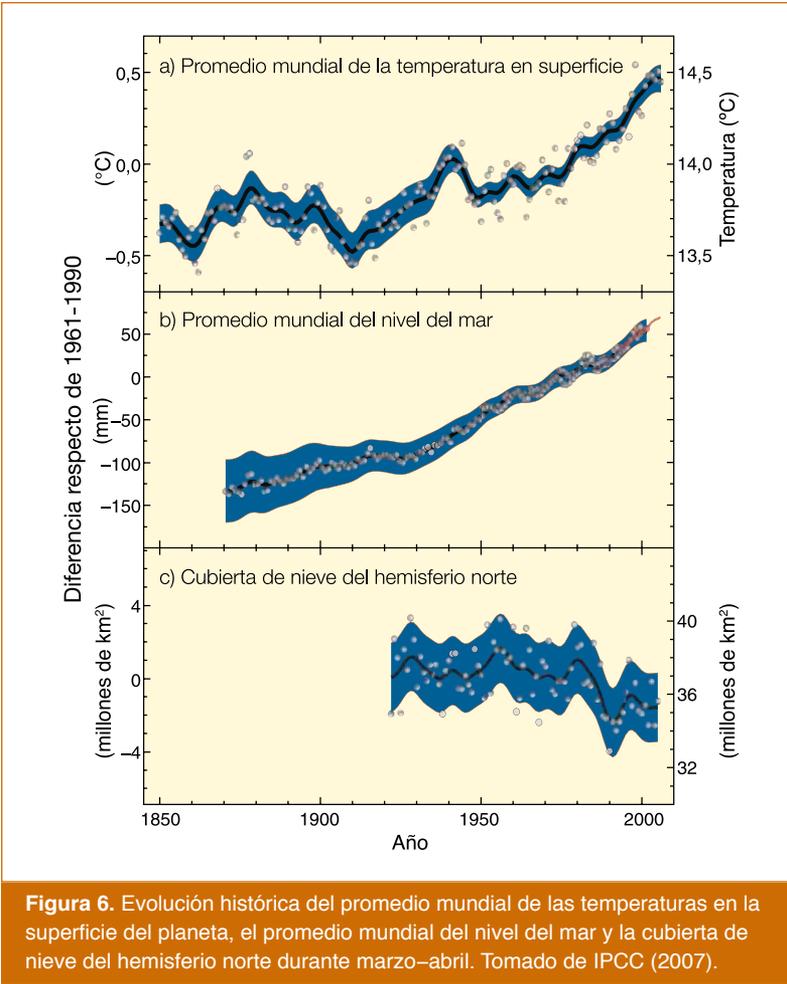
### Temperatura

Las temperaturas de la superficie terrestre han aumentado 0,74 °C globalmente, entre 1906 y 2005 (Figura 6a). Durante la segunda mitad



**Figura 5.** Componentes principales del forzamiento radiativo del cambio climático. Los valores representan los forzamientos al 2005, en relación con el inicio de la era industrial (aproximadamente 1750). Los forzamientos positivos conducen al calentamiento del clima y los negativos, al enfriamiento. Las barras de error representan el rango de incertidumbre para cada forzamiento. Tomada de Solomon *et ál.* (2007).

del siglo XX, las temperaturas promedio del hemisferio norte fueron probablemente las más altas de los últimos 1300 años. Sin embargo, el aumento no ha sido uniforme espacial ni temporalmente en todo el planeta. Por ejemplo, el calentamiento, especialmente a partir de



la década de 1770, ha sido mayor sobre la superficie terrestre que sobre el mar. Además, el calentamiento ha sido ligeramente mayor en el hemisferio invernal (también llamado polo oscurecido o polo en sombra) y en las latitudes septentrionales altas. No obstante, hay áreas del mundo, como la parte septentrional del Atlántico Norte, donde las temperaturas han disminuido.

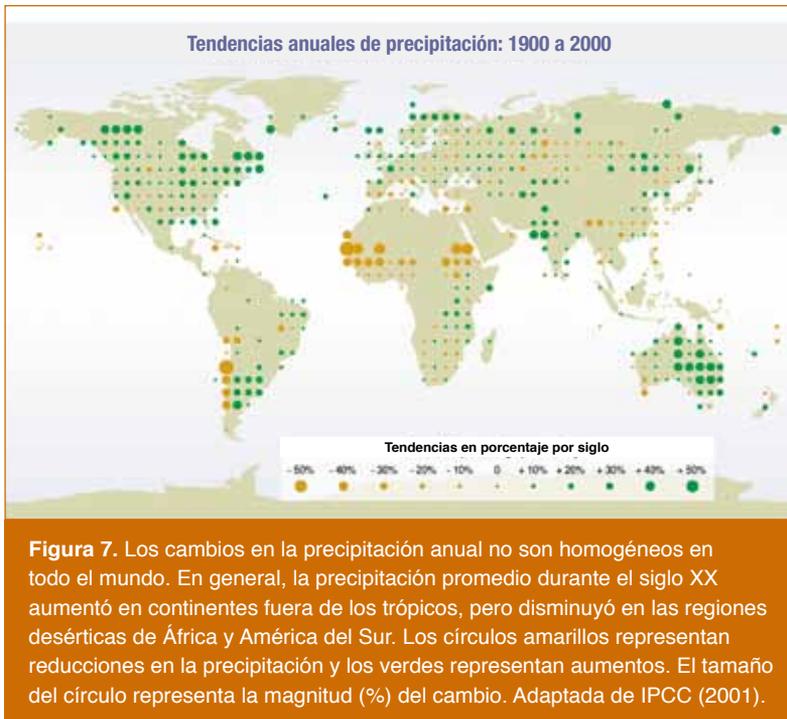
El calentamiento durante el siglo pasado se produjo en dos fases, con una tasa de calentamiento creciente en los últimos 25 años: entre 1910 y 1940 la temperatura aumentó 0,35 °C y 0,55 °C a partir de la década de 1970 (Figura 6a). Once de los 12 años más calientes desde que se empezaron a llevar registros han ocurrido desde 1995. De manera consistente con este calentamiento, se ha observado una reducción en la cantidad de días y de noches muy frías. Además, la duración de la temporada libre de heladas ha aumentado en la mayoría de las regiones de latitud media y alta de ambos hemisferios. En el hemisferio norte, esto se traduce en un comienzo más temprano de la primavera.

### **Precipitación**

La precipitación presenta mayor variabilidad espacial y temporal que la temperatura. Los cambios observados en algunas regiones están dominados por variaciones de largo plazo, cuyas tendencias no fueron evidentes durante el siglo XX. Durante este mismo período, la precipitación aumentó significativamente en las zonas orientales de América del Norte y del Sur, el norte de Europa, Asia septentrional y central. Por el contrario, el Sahel, el Mediterráneo, el sur de África y el sur de Asia ahora son áreas más secas que al inicio del siglo XX (Figura 7). En las regiones septentrionales, la precipitación en forma de lluvia es ahora más común que en forma de nieve.

### **Cambios en los océanos**

El calentamiento ha sido más evidente en latitudes medias y bajas, sobre todo en los océanos tropicales. Desde 1961, los océanos han absorbido el 80% del calor incorporado al sistema climático. Esto ha provocado el aumento de la temperatura mundial del océano hasta al menos 3.000 m de profundidad, con la consiguiente elevación del nivel del mar. Tanto la expansión térmica del agua marina como el derretimiento del hielo, ambos fenómenos debidos al aumento de temperatura del planeta, contribuyen al ascenso del nivel del mar. La expansión térmica ha contribuido con el 57% del incremento observado; la disminución de los glaciares y de los casquetes y mantos de hielo son responsables del resto, con una tasa anual de 1,2 mm  $\pm$  0,4 mm, entre 1993 y 2003.



El nivel del mar no se eleva de manera uniforme alrededor del mundo debido a diferencias en los cambios de temperatura de los océanos, la salinidad del agua y los patrones de circulación oceánica. Desde finales del siglo XIX, el nivel del mar se ha elevado gradualmente y continúa aumentando cada vez más rápidamente (Figura 6b). Durante el siglo XX, la tasa promedio de aumento del nivel del mar fue de 1,7 mm por año, pero es probable que la incidencia de elevaciones extremas del nivel del mar se haya incrementado alrededor del mundo desde 1975.

Se espera que el nivel del mar continúe aumentando durante el presente siglo, y que lo haga a una tasa mayor que la observada entre 1961 y 2003. La expansión térmica de los océanos dominará el

incremento promedio del nivel del mar por al menos los próximos 100 años, especialmente si no se estabilizan las concentraciones de GEI.

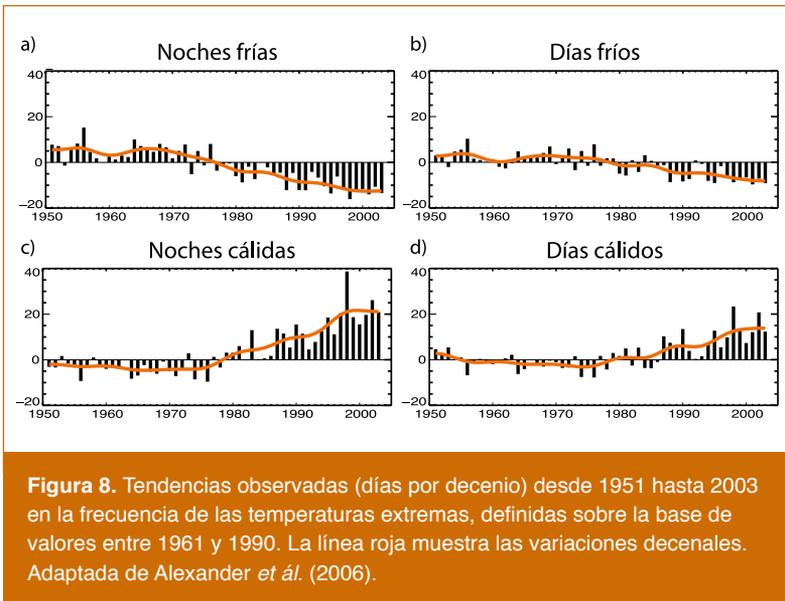
### **Cobertura de hielo y nieve**

En el hemisferio norte, la cobertura de nieve durante la primavera ha disminuido en un 2% por década a partir de 1966 (Figura 6c). Además, la nieve está desapareciendo mucho antes en la primavera. El tamaño de la mayoría de los glaciares y cascos de nieve montañosos también se ha reducido en ambos hemisferios. El área cubierta por hielo marino en el Ártico ha disminuido a una tasa promedio cercana al 3% por década. La disminución en el área de hielo marino sobrepasa el 7% por década. El área de permafrost y de tierras congeladas estacionalmente, así como el hielo en ríos y lagos, también ha disminuido.

### **Eventos extremos**

Se conocen como “eventos extremos” los valores máximos o mínimos de una variable determinada, o eventos climáticos poco frecuentes y de mucha intensidad (por ejemplo, tormentas, sequías y olas de calor). En los últimos 50 años, el número de noches frías ha disminuido, y ha aumentado el número de noches cálidas. También han aumentado las temperaturas máximas y mínimas (Figura 8). El número de días libres de escarcha aumenta conforme se incrementa la temperatura en las latitudes medias. Es probable que las olas de calor ahora sean más frecuentes en la mayoría de las áreas terrestres.

Es de esperar que un clima más cálido incremente los riesgos de sequía en lugares donde no llueve y el riesgo de inundaciones donde sí llueve. La distribución y el momento en el que ocurren sequías e inundaciones se ven más afectados por el ciclo de El Niño, sobre todo en los trópicos y en gran parte de las latitudes medias de los países de la cuenca del Pacífico.



La intensidad de la precipitación y el riesgo de lluvias y nevadas intensas aumentaron en el siglo XX debido a un incremento de aproximadamente 5% en el vapor de agua en la atmósfera. En los últimos 50 años, se han observado precipitaciones más intensas en los climas cálidos, aún cuando el total anual de precipitación disminuya. Esto quiere decir que la estacionalidad de la precipitación es ahora más marcada. Las zonas terrestres muy secas del mundo han duplicado su extensión desde la década de 1970, y las sequías se han vuelto más comunes en varias regiones del planeta. Es probable que ocurran eventos aún más fuertes conforme aumenten los totales de precipitación. El número de huracanes de categoría 4 y 5 es aproximadamente 75% mayor que en 1970. Los mayores incrementos se han observado en el Pacífico Norte, el Océano Índico y el Pacífico Suroeste. El número de huracanes en el Atlántico Norte sobrepasó el promedio en nueve de los once años comprendidos en el período 1996–2007. Sin embargo, la detección de las tendencias a largo plazo de la actividad ciclónica todavía no es altamente confiable.

## Escenarios climáticos

Las proyecciones del clima futuro tienen un cierto nivel de incertidumbre debido a la naturaleza cambiante del clima y a la dificultad para establecer cuáles serán las emisiones futuras de GEI. Las concentraciones de los GEI dependen de muchos supuestos y factores con diferentes grados de incertidumbre, tales como el crecimiento de la población, el desarrollo y uso de energías alternativas, el desarrollo tecnológico y económico y las políticas y actitudes humanas acerca del ambiente. Por estas razones, se utilizan escenarios que contemplan diferentes rangos de estos factores para investigar las consecuencias potenciales del cambio climático antropogénico.

Un escenario climático es una representación lógica y generalmente simplificada de un posible clima futuro, basada en el entendimiento de cómo funciona el clima y de los distintos factores que lo influyen. Los escenarios están típicamente contruidos como insumo para evaluar los posibles efectos de impacto del cambio climático sobre los sistemas naturales y sociales.

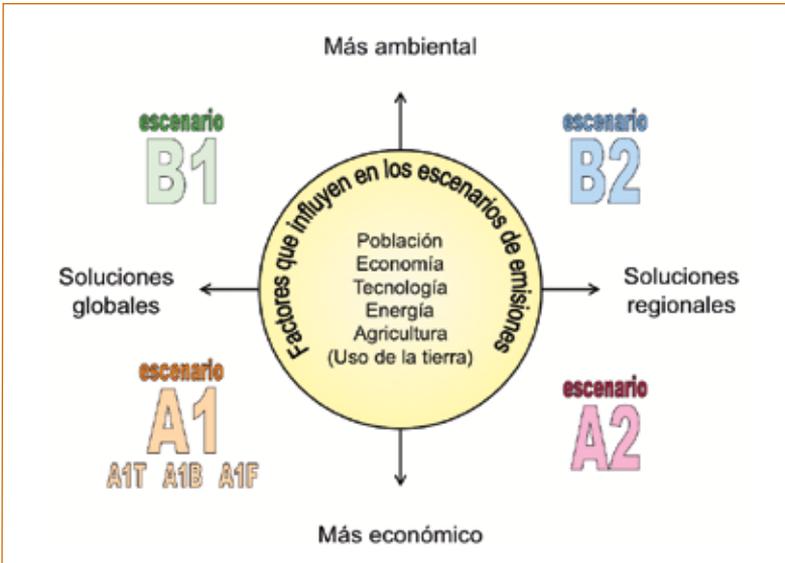
### Los escenarios de emisiones de CO<sub>2</sub> del IPCC

El Informe Especial del IPCC sobre escenarios de emisiones (IPCC 2000) contiene 40 escenarios diferentes agrupados en cuatro familias (Cuadro 1) que exploran alternativas de desarrollo. Estas alternativas incorporan factores demográficos, sociales, económicos, tecnológicos y ambientales, junto con las emisiones de gases de efecto invernadero resultantes, para conjeturar el cambio climático a futuro. La lógica principal detrás de estos escenarios es que las sociedades tienen la opción de colaborar para solucionar los problemas globales mediante soluciones conjuntas y comprehensivas, o pueden permanecer aisladas e intentar solucionar sus problemas de manera independiente. Asimismo, los objetivos de desarrollo pueden orientarse hacia el aumento de la riqueza humana o hacia la conservación del medio ambiente (Figura 9).

**Cuadro 1.** Características de las familias de escenarios de cambio climático propuestos por el IPCC

Familia	Número de escenarios	Características
A1	17	Rápido crecimiento económico, baja tasa de crecimiento de población y rápido cambio hacia tecnologías más eficientes. Ocurre una convergencia entre regiones y se reducen significativamente las diferencias de ingreso personal. Esta familia se divide en tres grupos basados en el sistema energético a utilizar: uso intensivo de combustibles fósiles (A1F), energías de origen no fósil (A1T) y equilibrio entre diferentes fuentes (A1B).
A2	6	Un mundo heterogéneo, autosuficiente y que mantiene las identidades locales. Las tasas de crecimiento de población convergen lentamente, lo cual resulta en un elevado crecimiento de la población. El crecimiento económico per cápita es más lento y fragmentado que en otras familias.
B1	9	Un mundo convergente, con bajo crecimiento de la población y con rápidos cambios en las estructuras económicas. Ocurre un movimiento hacia una economía basada en los servicios y en la tecnología de la información. Se reduce la intensidad en el uso de materiales y se introducen tecnologías limpias y eficientes. El énfasis es en soluciones globales para la sostenibilidad ambiental, económica y social, incluyendo aumentos en la equidad.
B2	8	Un mundo con énfasis en soluciones locales a la sostenibilidad ambiental, social y económica. El crecimiento de la población y el desarrollo económico son moderados. El cambio tecnológico es menos rápido pero más diverso que en B1 y A1. Pese a estar orientada a la protección ambiental y la equidad social, esta familia se enfoca en los niveles regional y local.

Fuente: IPCC (2000).



**Figura 9.** Marco conceptual de las familias de escenarios de cambio climático del IPCC. En el eje horizontal se representa la forma de adaptarse a los problemas; en el eje vertical el tipo de desarrollo. Adaptado de Palma Grayeb *et ál.* (2007) y Anderson *et ál.* (2008).

Además de los ya existentes, los escenarios del IPCC no contemplan explícitamente políticas climáticas enfocadas directamente en la reducción de emisiones de GEI ni en maximizar el tamaño de los sumideros de  $\text{CO}_2$ . La intención, más bien, es que los escenarios sirvan de referencia para analizar las posibles consecuencias de la implementación de políticas adicionales. Todos los escenarios se consideran igualmente válidos y probables. Esto deja la puerta abierta para que se realicen discusiones políticas acerca de los posibles cursos de acción como respuestas al cambio climático.

### La importancia de considerar varios escenarios

Para cuantificar el aspecto probabilístico de los escenarios es útil establecer comparaciones entre conjuntos de modelos similares o entre modelos con diferentes estructuras. Es necesario, además,

disponer de varios escenarios climáticos futuros para cuantificar la incertidumbre de las estimaciones. En términos de políticas, en lugar de decidir si un determinado modelo es el más representativo de ciertas condiciones futuras, la consideración de varios modelos amplía las opciones que permiten desarrollar una gama de opciones de adaptación. Por este motivo, en cualquier análisis de cambio climático, el IPCC recomienda considerar al menos dos familias de escenarios y una diversidad de supuestos. En las últimas simulaciones de cambio climático a nivel global realizadas para el IPCC se utilizaron los escenarios B1, A1B y A2, correspondientes a posibles niveles de emisiones 'bajo', 'medio' y 'alto', respectivamente. En la región mesoamericana, los escenarios más comúnmente utilizados son el A2 y el B2.

### **Proyecciones de cambios futuros en el clima**

Si las políticas actuales de mitigación del cambio climático y las prácticas de desarrollo sostenible se mantienen, las emisiones de gases de efecto invernadero continuarán en aumento durante los próximos decenios. En consecuencia, durante el siglo XXI se intensificaría el calentamiento, con cambios climáticos muy probablemente superiores a los experimentados en el siglo XX. El calentamiento proyectado para el siglo XXI tendría una distribución geográfica similar a la observada hasta ahora.

Las proyecciones del IPCC señalan que el promedio mundial de aumento de temperatura observado entre 1990 y 2005 (0,15 °C y 0,30 °C por década) se mantendrá aproximadamente igual durante los siguientes 20 años. Esta tendencia no cambiaría aunque se mantuvieran constantes las concentraciones de todos los GEI y de los aerosoles a niveles similares a los del año 2000. A pesar que los rangos exactos de cambio de temperatura varían ligeramente entre escenarios climáticos, todos los escenarios del IPCC muestran aumentos de temperatura que alcanzan hasta 6 °C en el estimado más extremo (Cuadro 2). Es muy poco probable que el aumento de la temperatura sea inferior a 1,5 °C.

**Cuadro 2.** Rango promedio de aumento en temperatura (°C) y en el nivel del mar (m) para los principales escenarios climáticos del IPCC

Caso	Aumento de temperatura*	Aumento del nivel del mar*
Concentraciones constantes de GEI del 2000	0,3 a 0,9	No disponible
Escenario B1	1,1 a 2,9	0,18 a 0,38
Escenario AT1	1,4 a 3,8	0,20 a 0,45
Escenario B2	1,4 a 3,8	0,20 a 0,43
Escenario A1B	1,7 a 4,4	0,21 a 0,48
Escenario A2	2,0 a 5,4	0,23 a 0,51
Escenario A1F1	2,4 a 6,4	0,26 a 0,59

\*Aumentos probables de temperatura y del nivel del mar en el período 2090-2099 respecto del período 1980-1999. Adaptado de IPCC (2007).

La extensión del área cubierta de nieve y hielo marino continuará disminuyendo. Es muy probable que aumente la frecuencia de los valores extremos, de las olas de calor y de las precipitaciones intensas. Es probable que en el futuro los ciclones tropicales sean más intensos debido al aumento de la temperatura superficial del mar. Las trayectorias de las tormentas extratropicales migrarían hacia los polos. Es muy probable que aumente la precipitación en latitudes altas y que disminuya hasta un 20% en la zona subtropical.

Las emisiones pasadas y futuras de CO<sub>2</sub> antropogénico continuarán fomentando el calentamiento y el aumento del nivel del mar durante más de un milenio. Si se lograran estabilizar y mantener constantes todos los forzamientos radiativos hasta el 2100, todavía se esperaría un aumento del promedio mundial de la temperatura de aproximadamente 0,5 °C hasta el 2200. La dilatación térmica de los océanos proseguiría por muchos siglos, debido al tiempo que toma transportar

calor hacia las capas más profundas del océano. Se estima que para el año 2300, el aumento del nivel del mar alcanzaría de 0,3 m a 0,8 m respecto del nivel del período 1980–1990 (Cuadro 2). En el caso de desaparecer el manto de hielo de Groenlandia, el nivel del mar aumentaría hasta 7 m. Este valor es similar al nivel del mar en el último período interglaciar de hace 125.000 años.

### **Áreas de incertidumbre en las predicciones**

Pese a que el nivel de conocimiento del sistema climático global continúa aumentando rápida y significativamente, aún persisten incertidumbres<sup>4</sup> respecto de ciertos cambios observados en el clima. La existencia de estas incertidumbres no necesariamente niega ni invalida las predicciones realizadas. Simplemente se trata de ciertas áreas del conocimiento científico donde los mecanismos predominantes no son comprendidos en su totalidad. Algunas de las incertidumbres predominantes se mencionan a continuación.

El análisis y seguimiento a los cambios observados en los eventos extremos (sequías, huracanes, frecuencia e intensidad de precipitación) es más complejo que con los promedios climáticos, puesto que se necesitan series de tiempo más largas y resoluciones espaciales y temporales mayores. La capacidad adaptativa de algunos sistemas naturales y humanos dificulta la detección de los efectos del cambio climático y sus impulsores.

Aunque la mayoría de los modelos de cambio climático utilizados actualmente son congruentes en su comportamiento a nivel global, aún persisten dificultades para simular ciertos cambios (por ejemplo, la precipitación) a nivel regional. En escalas menores, los cambios en el uso de la tierra o la contaminación puntual pueden complicar la detección de los efectos del calentamiento antropogénico sobre los sistemas naturales.

---

<sup>4</sup> Ver en Anexo 2 una descripción del tratamiento de la incertidumbre por parte del IPCC.

La intensidad de los procesos de retroalimentación climática (llamados “retrofectos”, en el lenguaje del IPCC), como la incorporación de calor por el océano, el papel de las nubes y el ciclo del carbono aún deben ser cuantificados con mayor certeza. De igual forma, los impactos de los aerosoles sobre la dinámica de las nubes y la precipitación siguen siendo inciertos. La magnitud del aumento futuro del nivel del mar también es incierta (especialmente su límite superior) debido a la incertidumbre que rodea la estimación de la pérdida de hielo en Groenlandia y el Ártico y al proceso de distribución de calor en los océanos.

## 2

## Clima en Mesoamérica

### Patrones históricos del clima

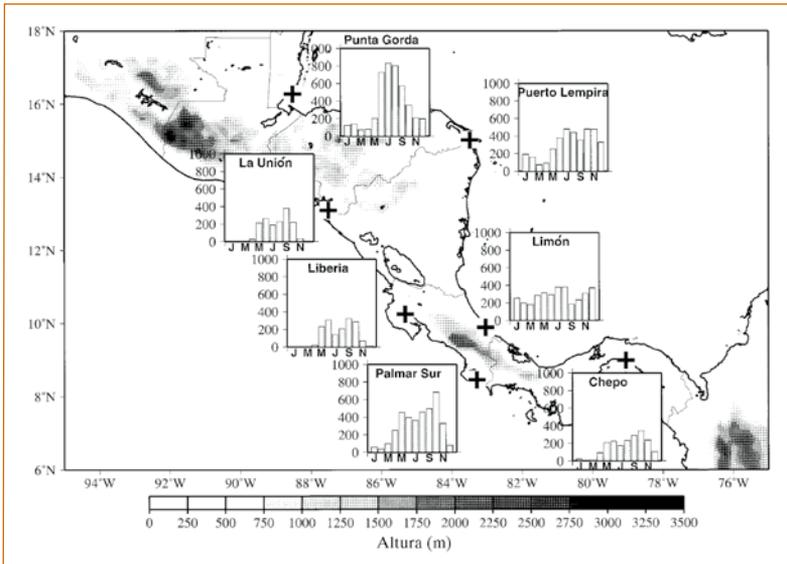
La precipitación y la temperatura en Mesoamérica presentan patrones anuales bien definidos, modificados periódicamente por fluctuaciones en la temperatura de los océanos circundantes y por los ciclos de El Niño/La Niña (la oscilación decenal del Pacífico). En general, la interacción entre los vientos alisios provenientes del este y la complejidad orográfica de la región diferencian los patrones de precipitación de las vertientes del Caribe (barlovento) y del Pacífico (sotavento) de la región. El efecto de “sombra orográfica” creado por los sistemas montañosos provoca que, en general, la vertiente Caribe sea lluviosa prácticamente durante todo el año y la vertiente Pacífica esté dominada por una prolongada época seca (Figura 10: compárense, por ejemplo, las estaciones Limón y Puerto Lempira en el Atlántico vs. La Unión y Liberia en el Pacífico). El sector sur de Centroamérica es más lluvioso que el norte.

### Precipitación

La precipitación en el lado del Pacífico de Mesoamérica se caracteriza por una estación seca que se extiende aproximadamente desde noviembre hasta abril o mayo, y una estación húmeda durante el resto del año. El aumento en la intensidad de los vientos alisios en julio produce un máximo de precipitación en la mayor parte de la vertiente Caribe de Centroamérica y el sur de México (Figura 10). Debido a la prevalencia de los vientos alisios del este en la región, cualquier aumento en la temperatura de la superficie del océano hacia el este del istmo provoca un aumento en la precipitación. Por el contrario, cuando la temperatura de

la superficie del océano disminuye, la precipitación disminuye hasta un 40% durante los meses de julio/agosto (lo que se conoce comúnmente como “veranillo” o “canícula”) en la vertiente Pacífica (ver estaciones Liberia y Palmar Sur en la Figura 10). El veranillo es más pronunciado en el lado oeste de Centroamérica, la Península de Yucatán, y el este de México. Por otro lado, este fenómeno está prácticamente ausente en el oeste de México, el sur de Belice, el sureste de Honduras, el este de Nicaragua y Costa Rica y el noreste de Panamá.

Las sequías severas en la vertiente Pacífica se asocian con el fenómeno El Niño (un aumento en la temperatura superficial del mar en el pacífico ecuatorial que genera anomalías en la circulación atmosférica del planeta). Por otro lado, masas de aire frío procedentes de Norte América durante los meses de invierno y los vientos alisios entre julio



**Figura 10.** Topografía y precipitación mensual en estaciones meteorológicas seleccionadas (ubicación señalada con "+") en Centroamérica y sur de México. Los recuadros muestran la precipitación mensual (barras verticales) para cada estación. Tomada de Magaña *et ál.* (1999).

y agosto producen intensas lluvias que provocan inundaciones en la vertiente Caribe de Centroamérica. Las regiones más afectadas son, sobre todo, la costa norte de Honduras y la costa este de Nicaragua, Costa Rica y Panamá. La costa norte de Honduras y Belice son las áreas más susceptibles al impacto directo de huracanes, aunque también han golpeado la costa de Nicaragua en las últimas décadas.

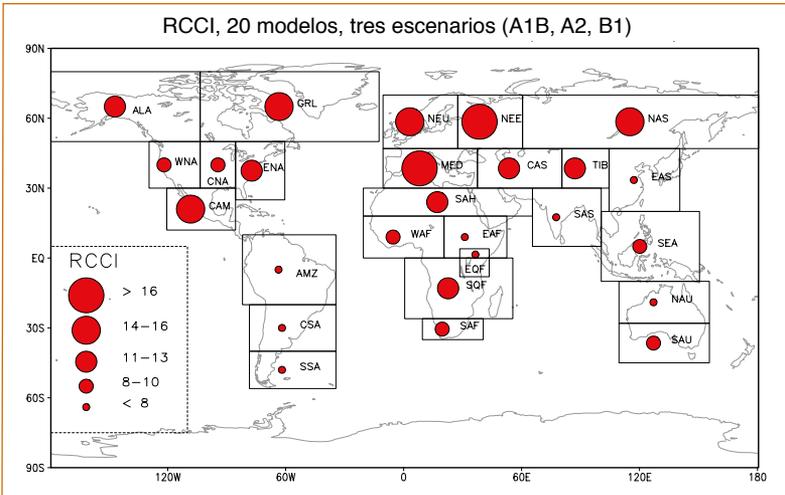
### **Temperatura**

La temperatura se relaciona fuertemente con las temperaturas del Océano Pacífico, incluyendo patrones ligados al fenómeno de El Niño, y con el ciclo anual de precipitación. Las temperaturas diarias alcanzan su máximo valor antes del inicio de la época lluviosa y disminuyen cerca del mes de enero. Las temperaturas mínimas muestran un ciclo diferente: sus valores más altos se observan en julio (cuando el aumento de la nubosidad disminuye el enfriamiento radiativo) y los más bajos durante el invierno del hemisferio norte.

### **Cambios observados en variables climáticas**

Centroamérica es considerada el mayor “*hot spot*” de cambio climático en los trópicos (Figura 11). Un análisis de los patrones de temperatura y precipitación de 105 estaciones meteorológicas en toda la región mesoamericana y el norte de América del Sur muestra una diversidad de cambios en los valores extremos de estas variables durante los últimos 40 años (Aguilar *et ál.* 2005).

A escala regional, los índices de temperatura presentaron variaciones significativas en toda la región entre 1961 y 2003 (Cuadro 3). El porcentaje anual de días y noches cálidas se incrementaron en un 2,5% y un 1,7% por década. Por otro lado, la cantidad de noches y días fríos disminuyeron -2,2% y -2,4% por década, respectivamente (Cuadro 3). Los extremos de temperatura aumentaron entre 0,2 °C y 0,3 °C por década. La duración de los períodos de días fríos consecutivos también disminuyó.



**Figura 11.** Índice Regional de Cambio Climático (RCCI, por sus siglas en inglés) para 26 regiones terrestres del mundo, calculado a partir de 20 modelos de circulación global y tres escenarios de emisiones del IPCC. El tamaño de los círculos representa la magnitud de los cambios en índices de temperatura y precipitación. Tomada de Giorgi (2006).

Durante los últimos 45 años, no se ha observado una disminución en la precipitación anual en la región, pero hay una ligera tendencia al aumento en su intensidad. Además, ha aumentado el número de días secos consecutivos. En otras palabras, los patrones de precipitación han cambiado de forma que ahora llueve durante menos tiempo, pero de manera más intensa, con efectos obvios sobre la producción agrícola, conservación de suelos, inundaciones y disponibilidad de agua.

Aunque la mayoría de estaciones meteorológicas analizadas presentan tendencias positivas (mayor precipitación), el promedio regional de precipitación total anual y el número de días húmedos consecutivos no muestran cambios significativos (Cuadro 3). Esto se debe probablemente a la limitada duración de las series de tiempo de los datos y a las grandes variaciones anuales observadas en la

**Cuadro 3.** Tendencias de cambio en índices regionales de temperatura y precipitación para el período comprendido entre 1961 y 2003

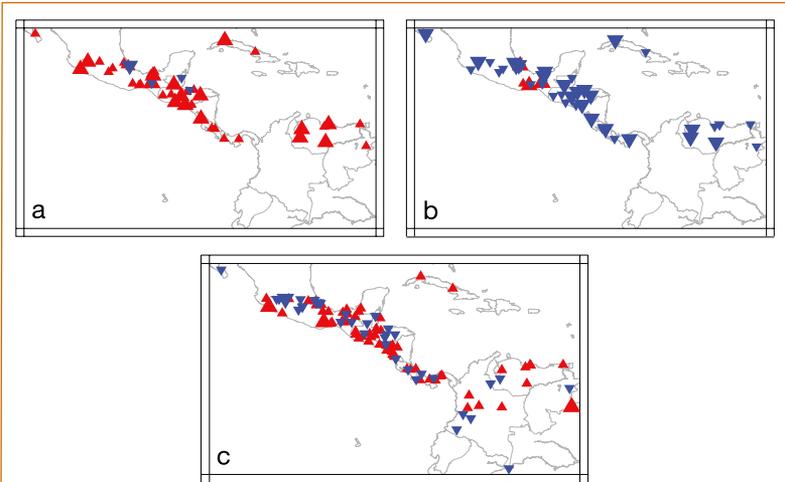
Índice	Unidades	Tendencia (unidades/década)
<b>Temperatura</b>		
Días cálidos	% de días	<b>2,5</b>
Noches cálidas	% de días	<b>1,7</b>
Días fríos	% de días	<b>-2,2</b>
Noches frías	% de días	<b>-2,4</b>
Rango diario de temperatura	°C	<b>0,1</b>
Temperatura máxima más alta	°C	<b>0,3</b>
Temperatura máxima más baja	°C	<b>0,3</b>
Temperatura mínima más alta	°C	<b>0,2</b>
Temperatura mínima más baja	°C	<b>0,3</b>
Duración de período frío	número de días	<b>-2,2</b>
Duración de período cálido	número de días	0,6
<b>Precipitación</b>		
Precipitación anual total	mm	8,7
Índice simple de intensidad diaria	mm	<b>0,3</b>
Días muy húmedos	mm	<b>18,1</b>
Días extremadamente húmedos	mm	<b>10,3</b>
Precipitación máxima en 1 día	mm	<b>2,6</b>
Precipitación máxima en 5 días	mm	3,5
Precipitación fuerte	número de días	-0,1
Precipitación muy fuerte	número de días	0,1
Días secos consecutivos	número de días	0,4
Días húmedos consecutivos	número de días	-0,1

Los valores en negrita son significativos al 5%. Adaptado de Aguilar *et ál.* (2005).

precipitación. Además, la heterogeneidad de las respuestas de precipitación en toda la región (Figura 12) juega un papel en la dificultad de encontrar una tendencia definitiva. Por ejemplo, el número de días secos consecutivos disminuyó en el centro y sur de la región, pero aumentó al norte de México y en el Caribe.

Los índices de precipitación extrema sí aumentaron significativamente (Cuadro 3) y se correlacionan positivamente con la temperatura del Océano Atlántico tropical. Esto indica que una estación lluviosa prolongada se relaciona con aguas cálidas en esa cuenca oceánica.

La tendencia de los últimos 40 años parece indicar un fortalecimiento del ciclo hidrológico en toda la región, con más cantidad de lluvia procedente de eventos extremos y mayor precipitación promedio por



**Figura 12.** Tendencias de cambio en (a) el porcentaje de días cálidos, (b) el porcentaje de días fríos y (c) la precipitación anual total para el período 1971-2003. Los triángulos rojos (con el ápice hacia arriba) representan aumento; los azules (con el ápice hacia abajo) representan disminución en la variable. Los triángulos grandes representan tendencias significativas y los pequeños tendencias no significativas. Adaptado de Aguilar *et ál.* (2005).

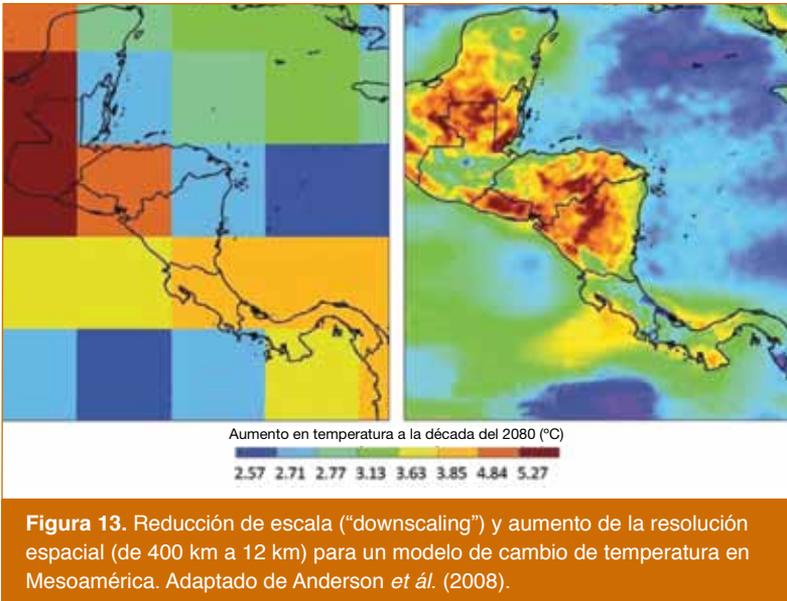
episodio. Es de esperar que esta tendencia se mantenga en el futuro y que, en consecuencia, se de una mayor frecuencia o intensidad de eventos climáticos extremos (inundaciones y/o sequías). Esto no parece estar ligado al fenómeno de El Niño. Pese a que recientes huracanes han causado incontables daños en la región, no se ha determinado con certeza si su frecuencia e intensidad futura en el Caribe aumentará.

## Escenarios climáticos para Mesoamérica

Los escenarios climáticos más recientes para la región mesoamericana utilizan datos generados por el proyecto Worldclim<sup>5</sup> (Hijmans *et ál.* 2005). Estos escenarios complementan el trabajo realizado en la región desde la década de 1990. La mayoría de los modelos climáticos recientes subestiman la cantidad de precipitación en Centroamérica (hasta en un 60%), pero replican consistentemente la estacionalidad del clima en la región, inclusive el veranillo (Rausher *et ál.* 2008).

Aunque los modelos del IPCC consideran una diversidad de interacciones muy complejas entre componentes acuáticos, terrestres y atmosféricos, y su capacidad de replicar condiciones climáticas es reconocida, su resolución no es la más adecuada para evaluar efectos a nivel regional o de país. Para esto, es necesario reducir la escala (mediante un proceso estadístico conocido como “*downscaling*”) y aumentar la resolución de los datos (STARDEX 2009; Figura 13). A partir de los datos climáticos de 1961–1990, se calcularon los cambios de temperatura y precipitación para los horizontes temporales de 2020, 2050 y 2080. Estos horizontes son genéricos para los períodos 2011–2040, 2041–2060 y 2061–2090, respectivamente. Se escogieron los escenarios B2 y A2 del IPCC (Cuadro 1) como ejemplos de escenarios ‘favorable’ y ‘desfavorable’, respectivamente y se desarrolló un índice de severidad del cambio climático (ISCC). Los pormenores de este índice se detallan en el capítulo de efectos del cambio climático de este documento.

5 <http://www.worldclim.org/> Última consulta el 23-10-2010.



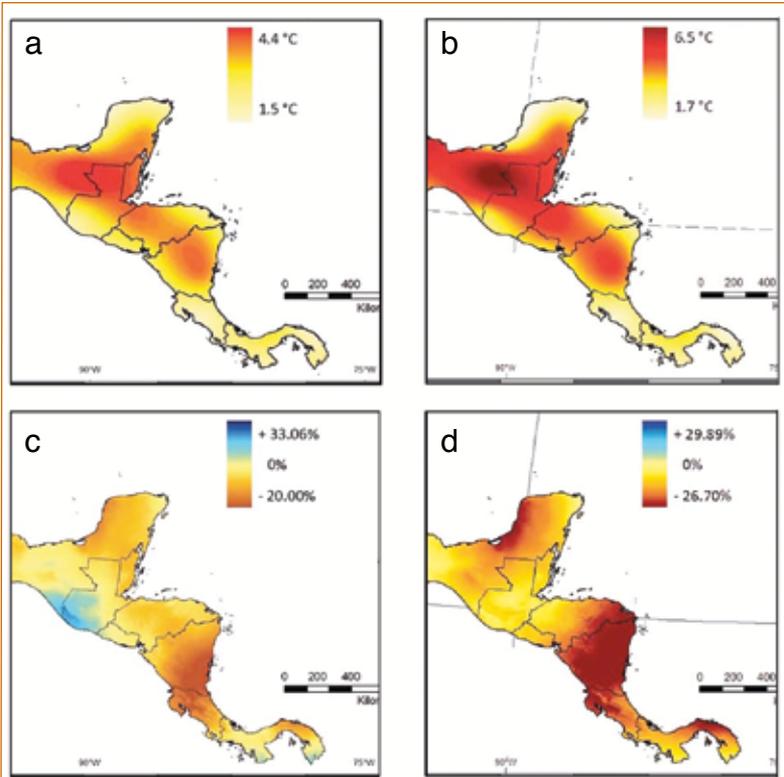
## Cambios esperados en la temperatura y la precipitación

Mundialmente, se espera que la temperatura promedio de la superficie del planeta aumente entre 1,4 °C y 5,8 °C hasta el 2100. De forma congruente con este cambio, se espera un aumento de la temperatura en toda la región mesoamericana. Sin embargo, las predicciones difieren en la magnitud, dirección (aumento o reducción) y ubicación de los cambios en la precipitación. Pese a esta incertidumbre, en general se espera que aumente el número de días secos, la incidencia de precipitaciones más intensas y de eventos extremos como tormentas e inundaciones. Los futuros cambios en el clima posiblemente se deban a cambios en la temperatura de la superficie del mar, el desplazamiento de la zona de convergencia intertropical, la expansión e intensificación de la zona de alta presión del Atlántico Norte y mayores contrastes de temperatura entre la masa continental y el océano.

Los modelos proyectan un aumento regional de 1 °C a 2 °C para el 2011. Otros modelos predicen que la temperatura sería 2 °C a 4 °C mayor en el 2080 (para los escenarios B2 y A2, respectivamente). En general, se presenta un aumento generalizado de la temperatura en toda la región. Sin embargo, el extremo norte sufriría un aumento de temperatura mayor que el extremo sur. Hacia 2080 y con el escenario A2, los cambios de temperatura podrían alcanzar hasta 6,5 °C en el extremo norte de Mesoamérica, en los alrededores de Belice, Petén y la frontera entre Guatemala y México. En el escenario más favorable, la temperatura de esa misma área podría aumentar en 4 °C para el 2080. La zona hacia el sur de la frontera entre Nicaragua y Costa Rica experimentaría un incremento de temperatura menor a 2 °C con ambos escenarios (Figura 14). El resto de la región experimentaría cambios graduales entre los dos extremos geográficos.

Las proyecciones son más heterogéneas, tanto espacial como temporalmente, para la precipitación. En general, la mayor parte del territorio mesoamericano, y especialmente la costa del Pacífico, sufrirá una reducción en la precipitación hacia el 2020. En el escenario favorable, las excepciones son la costa suroeste de Guatemala y el extremo sur de Panamá, donde habría un ligero aumento en la precipitación, pero sólo bajo el escenario favorable. Por el contrario, en el escenario desfavorable, la precipitación en la costa noreste de Honduras, toda Nicaragua, la mayor parte de Costa Rica y la porción centro-norte de Panamá se reduciría al menos en 20% (Figura 14, Cuadro 4). El resto de la región también experimentaría reducciones en la precipitación bajo este último escenario, aunque no tan severas como las mencionadas. Otros modelos (Rausher *et ál.* 2008) predicen mayores reducciones en la precipitación en el sur de Guatemala, El Salvador, Honduras y el oeste de Nicaragua.

La distribución espacial de la precipitación futura contrasta entre los modelos recientes. Por ejemplo, simulaciones hechas por el Sistema de la Integración Centroamericana (SICA *et ál.* 2006) y resultados



**Figura 14.** Cambios de temperatura y precipitación en Mesoamérica. Anomalía en el promedio de temperatura anual ( $^{\circ}\text{C}$ ) hacia 2080 para (a) el escenario B2 y (b) el escenario A2; anomalía en el promedio de precipitación anual (%) hacia 2020 para (c) el escenario B2 y (d) el escenario A2. Las barras coloreadas verticales muestran la magnitud del cambio en unidades de  $^{\circ}\text{C}$  (a y b) y % (c y d). Adaptado de Anderson *et ál.* (2008).

de PRECIS<sup>6</sup> muestran diferentes tendencias de precipitación para la parte norte y sur de la región. En estas simulaciones, Costa Rica se comporta como una región de transición. Hacia el sur de los  $7^{\circ}$  de

<sup>6</sup> <http://precis.insmet.cu/eng/Precis-Caribe.htm> y <http://precis.insmet.cu/eng/datos.html>. Última consulta el 23-10-2010.

latitud, se estimó un incremento de aproximadamente 2% en la precipitación, mientras que hacia el norte de esa latitud se estimó una reducción de 12% en la precipitación hasta el 2100. Estos últimos modelos sí concuerdan con los descritos por Anderson *et ál.* (2008) en cuanto a temperatura se refiere. Además, todos los modelos analizados coinciden en predecir que la estación lluviosa tendrá menor precipitación.

**Cuadro 4.** Cambios en la temperatura (°C) y la precipitación (%) para Centroamérica bajo tres horizontes de tiempo. Rangos provenientes de siete modelos de circulación global y las cuatro familias de escenarios del IPCC.

Variable	Época	Año		
		2020	2050	2080
Temperatura (°C)	Seca	+0,4 a +1,1	+1 a +3	+1 a +5
	Lluviosa	+0,5 a +1,7	+1 a +4	+1,3 a +6,6
Precipitación (%)	Seca	-7 a +7	-12 a +5	-20 a +8
	Lluviosa	-10 a +4	-15 a +3	-30 a +5

Fuente: Magrin *et ál.* (2007).



### 3

## Efectos del cambio climático en Mesoamérica

Según el IPCC, la sociedad y los sistemas naturales de la región mesoamericana son altamente vulnerables a eventos extremos del clima. Esto se debe a una combinación de razones geográficas (confluencia de varias corrientes marinas, efectos de oscilaciones climáticas periódicas como El Niño/La Niña) y razones económicas y sociales (bajo desarrollo social, inequidad en la distribución de la riqueza, baja capacidad de adaptación).

Las comunidades más pobres generalmente son las más vulnerables. El 54% de la población que vive en pobreza tiene una probabilidad más alta de sufrir los efectos adversos del cambio climático<sup>7</sup>. Parte de esta vulnerabilidad se debe a la ubicación de las poblaciones en áreas de paso de huracanes, tierras inestables o inundables. La vulnerabilidad en la región ante eventos climáticos se ve exacerbada, además, por la interacción entre la presión demográfica, falta de planeamiento del crecimiento urbano, pobreza y migración rural, limitada inversión en infraestructura y servicios, sobreexplotación de los recursos naturales, contaminación y problemas de coordinación intersectorial.

Si en una región un cierto porcentaje de la población vive en pobreza extrema, con medios de vida basados en recursos naturales amenazados por el cambio climático, esta parte de la población es más susceptible de sufrir los efectos adversos del cambio climático y de volverse aún más pobre. De hecho, el cambio climático está frenando

<sup>7</sup> <http://www.alamys.org/default.asp?id=283&posicion1=4322>. Última consulta el 23-10-2010.

los esfuerzos por cumplir con las promesas de los Objetivos de Desarrollo del Milenio de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (Manzanares *et ál.* 2008).

El IPCC señala que los cambios en la estacionalidad o en la anualidad del clima tienen el potencial de afectar severamente diferentes sectores: recursos hídricos y su manejo, ecosistemas terrestres, agricultura, fibras y productos forestales, sistemas costeros, arrecifes de coral y humedales, industrias, salud y sociedad en general (Cuadro 5). Muchos de estos sectores están íntimamente relacionados, por lo que el cambio climático produciría efectos simultáneos y sinérgicos. Además, la influencia de los patrones de uso humano de las tierras y las aguas son factores que podrían poner en mayor riesgo a ciertos ecosistemas, o mejorar la supervivencia de otros.

La mayor parte de los efectos directos e indirectos del cambio climático se centrarán, en Mesoamérica, en la disponibilidad de agua. La escasez de agua tiene serias repercusiones sobre la biodiversidad, el consumo humano, la salud de la población, la capacidad de producción agrícola y la capacidad de generar energía hidroeléctrica. A continuación se ofrece una descripción general de los efectos que tendría el cambio climático sobre diferentes sectores en la región; en lo posible se ofrecen ejemplos locales. Los principales efectos por país se detallan en el Anexo 1. Estudios científicos y socioeconómicos sobre los cambios observados y esperados sobre los sistemas naturales y humanos son muy escasos en los países mesoamericanos, por lo que algunos de los efectos mencionados son generalizados a partir de los efectos esperados también en otras regiones. Por la diversidad de sectores y procesos involucrados, esta no es una revisión exhaustiva de todos los posibles efectos del cambio climático.

**Cuadro 5.** Cambios climáticos esperados y sus posibles efectos

Cambios esperados	Efectos proyectados
Temperaturas máximas más elevadas Más días calurosos Más olas de calor	▲ Mortalidad y enfermedades graves en personas mayores y en la población rural ▲ Estrés térmico en el ganado y en la flora y fauna silvestres ▲ Riesgo de daños a cultivos ▲ Demanda de refrigeración eléctrica ▼ Fiabilidad en el suministro de energía
Temperatura mínimas más elevadas Menos días fríos Menos heladas	▲ Distribución y actividad de plagas y vectores de enfermedades ▼ Morbilidad y natalidad humana relacionadas con el frío ▼ Riesgo de daños a cultivo ▼ Demanda de energía calórica
Precipitaciones más intensas	▲ Daños provocados por inundaciones y derrumbes de tierra ▲ Erosión del suelo ▲ Carga de acuífero de algunas llanuras de inundación ▲ Presión sobre sistemas de socorro en caso de desastre
Mayor riesgo de sequía	▲ Daños en construcciones por contracción del suelo ▲ Riesgo de incendios forestales ▼ Calidad y cantidad de los recursos hídricos ▼ Rendimiento de cultivos
Aumento en intensidad de huracanes Aumento en intensidad de precipitaciones medias y máximas	▲ Riesgo para la vida humana ▲ Erosión costera ▲ Riesgo de epidemias de enfermedades infecciosas ▲ Daños a infraestructura costera ▲ Daños a ecosistemas costeros (manglares y arrecifes)
Intensificación de sequías e inundaciones asociadas con el Niño	▼ Potencial de generación de energía hidroeléctrica (en zonas de sequía) ▼ Productividad agrícola y de pastizales

▲: aumento      ▼: disminución

Fuente: Adaptado de SEMARNAT y PNUMA (2006), a partir de datos del IPCC.

## Recursos hídricos

El cambio climático no sólo ha afectado los patrones normales de precipitación, sino también la periodicidad, intensidad y duración de diversos fenómenos climáticos. Tanto el exceso como el faltante de agua afectan la cantidad y la calidad disponible para los ecosistemas naturales y para el consumo humano. Una mayor precipitación produce un aumento de caudales y arrastre de sedimentos, lo cual trae como consecuencia problemas en la calidad de agua potable y el funcionamiento de ecosistemas marino-costeros. Una mayor cantidad de precipitación aumenta también el riesgo de inundaciones, afectando la infraestructura humana, la producción agropecuaria y la salud.

Por otra parte, una reducción en la precipitación disminuye la cantidad de agua disponible en una cuenca, lo cual es exacerbado por la interacción negativa con el aumento de la temperatura. En general, la vulnerabilidad a la escasez de agua es mayor en regiones típicamente más secas y calientes. La interacción negativa entre el aumento de la demanda de agua para uso doméstico e irrigación (por el incremento poblacional) y las condiciones de mayor aridez que se esperan en muchas cuencas hará que se agrave la vulnerabilidad. La escasez de agua se complica aún más porque los patrones de ocupación de los territorios no coinciden con la distribución del recurso.

Según el IPCC, el acelerado crecimiento urbano, mayor pobreza y menor inversión en el suministro de agua influirá, entre otros, en la falta de agua en muchas ciudades, un alto porcentaje de la población sin acceso a servicios de sanidad, ausencia de plantas de tratamiento de aguas, ausencia de sistemas de drenaje urbano y alta contaminación del agua subterránea. En el Valle Central de Costa Rica, por ejemplo, se espera un desequilibrio de la oferta de agua potable producto de una combinación entre el cambio climático y el incremento en 1,1 millones de personas para el 2022. En México, la disponibilidad *per capita* pasará de 11.500 m<sup>3</sup>/habitante/año en el año 1955 a 3500 m<sup>3</sup>/habitante/año en el 2025, debido al desarrollo económico y al crecimiento demográfico.

Se esperan problemas con el abastecimiento de agua para uso humano en las planicies, el Valle de Motagua y la costa pacífica de Guatemala; en todo El Salvador; en el Valle Central y la costa pacífica de Costa Rica; en las regiones intermontanas del norte, centro y oeste de Honduras, y en la península de Azuero en Panamá. La disminución en la disponibilidad de agua afectará además la capacidad de generación de energía hidroeléctrica en Belice, Honduras, Costa Rica y Panamá. Bajo condiciones de sequía severa, las prácticas agrícolas inadecuadas (deforestación, erosión del suelo y uso excesivo de pesticidas) influirán en la degradación de la calidad y cantidad de agua superficial y subterránea. Esto ocurriría en áreas actualmente degradadas, como León, el valle de Sébaco, Matagalpa y Jinotega en Nicaragua; el área metropolitana y algunas zonas rurales en Costa Rica.

## Biodiversidad

Según el IPCC, es poco probable que todos los cambios observados en numerosos sistemas naturales se deban únicamente a la variabilidad natural de éstos. En su lugar, es probable que el calentamiento global, debido a la acción humana durante los últimos 30 años, haya ejercido una influencia discernible sobre diversos sistemas naturales. Sin embargo, no es posible atribuir inequívocamente todas las respuestas observadas en los sistemas naturales al calentamiento global antropogénico. Por ejemplo, la variabilidad natural de la temperatura es mayor a menores escalas, lo que dificulta asignar una respuesta específica a los patrones de la temperatura global. Además, a pequeña escala, factores no climáticos como el cambio de uso de la tierra o las especies invasivas también influyen sobre el funcionamiento de los ecosistemas.

Mesoamérica posee aproximadamente el 9% de la riqueza biológica del mundo. La importancia de esta riqueza es innegable por el papel que juega en el abastecimiento de bienes y servicios esenciales para la supervivencia humana: alimentos, fibras, combustibles y energía, pastos, medicinas, agua y aire de calidad, control de inundaciones,

polinización, formación de suelos, regulación de ciclos de nutrimentos, valores culturales, espirituales, estéticos y recreativos. En general, se espera que el cambio climático, acentuado por la fragmentación y la deforestación, afecte a todos los aspectos de la biodiversidad. Entre los efectos más importantes se encuentra el aumento de la tasa de extinción de algunas especies y el desplazamiento de hábitats hacia latitudes y elevaciones más altas.

Los cambios en la estacionalidad e intensidad de la precipitación, más que los cambios anuales en temperatura, fomentarían el remplazo de zonas climáticas pluviales y muy húmedas por zonas secas y muy secas en Mesoamérica. Los bosques montanos y secos son los más vulnerables a este remplazo. Por ejemplo, en el centro y sur de México se espera una sustitución de bosques tropicales por sabanas, y de vegetación semiárida por vegetación árida en la mayor parte del centro y norte de México. De manera similar, en Nicaragua y Costa Rica existe una tendencia muy marcada al incremento de zonas muy secas, en detrimento de zonas muy húmedas (Figura 15). El completo desplazamiento (o eventual reemplazo) de tipos de ecosistemas generaría graves impactos sobre la diversidad de plantas y animales de la región, muchas de ellas ya amenazadas (Cuadro 6), así como sobre los servicios ambientales que actualmente ofrecen los bosques. Ni siquiera las áreas protegidas, con su alta diversidad y vulnerabilidad, estarían totalmente a salvo de estos cambios.

Especies con alta capacidad adaptativa y dispersión rápida (aves, mamíferos, algunos insectos) podrían migrar a nuevas áreas con climas adecuados. Sin embargo, en bosques de altura, por ejemplo, la posibilidad de migración de las especies hacia condiciones más favorables es prácticamente nula ya que las cimas de las cordilleras constituyen el límite físico máximo donde las especies podrían migrar y subsistir. Aún en bosques de bajura, la longevidad de algunas especies de árboles y los limitantes impuestos por sus sistemas de dispersión y hábitos de crecimiento dificultarían su migración a nuevas áreas con climas aptos para su desarrollo.



**Cuadro 6.** Número de especies de mamíferos, aves y plantas superiores conocidas y amenazadas en Mesoamérica.

Grupo taxonómico						
País	Mamíferos		Aves		Plantas superiores	
	Especies conocidas	Especies amenazadas	Especies conocidas	Especies amenazadas	Especies conocidas	Especies amenazadas
Belice	125	4	161	2	2894	28
Costa Rica	205	14	279	13	12119	109
El Salvador	135	2	141	0	2911	23
Guatemala	250	6	221	6	8681	77
Honduras	173	10	232	5	5680	108
México	491	70	440	39	26071	--
Nicaragua	200	6	215	5	7590	39
Panamá	218	20	302	16	9915	193

Fuente: PNUD *et ál.* (2003).

(producción de alimentos, fibras, madera), así como el funcionamiento del ciclo de carbono a nivel terrestre y marino y el número y tipos de organismos en los ecosistemas. El cambio o pérdida de ciertos organismos de un ecosistema puede provocar también pérdidas en la productividad neta. En el caso de los bosques, esto podría traducirse en una reducción de la oferta maderera (cuando se espera que la demanda continúe aumentando), lo cual generaría inclusive mayor presión sobre los bosques remanentes.

### Índice de severidad del cambio climático

El índice de severidad del cambio climático (ISCC) mide la magnitud de éste en un lugar determinado, en comparación con la variación

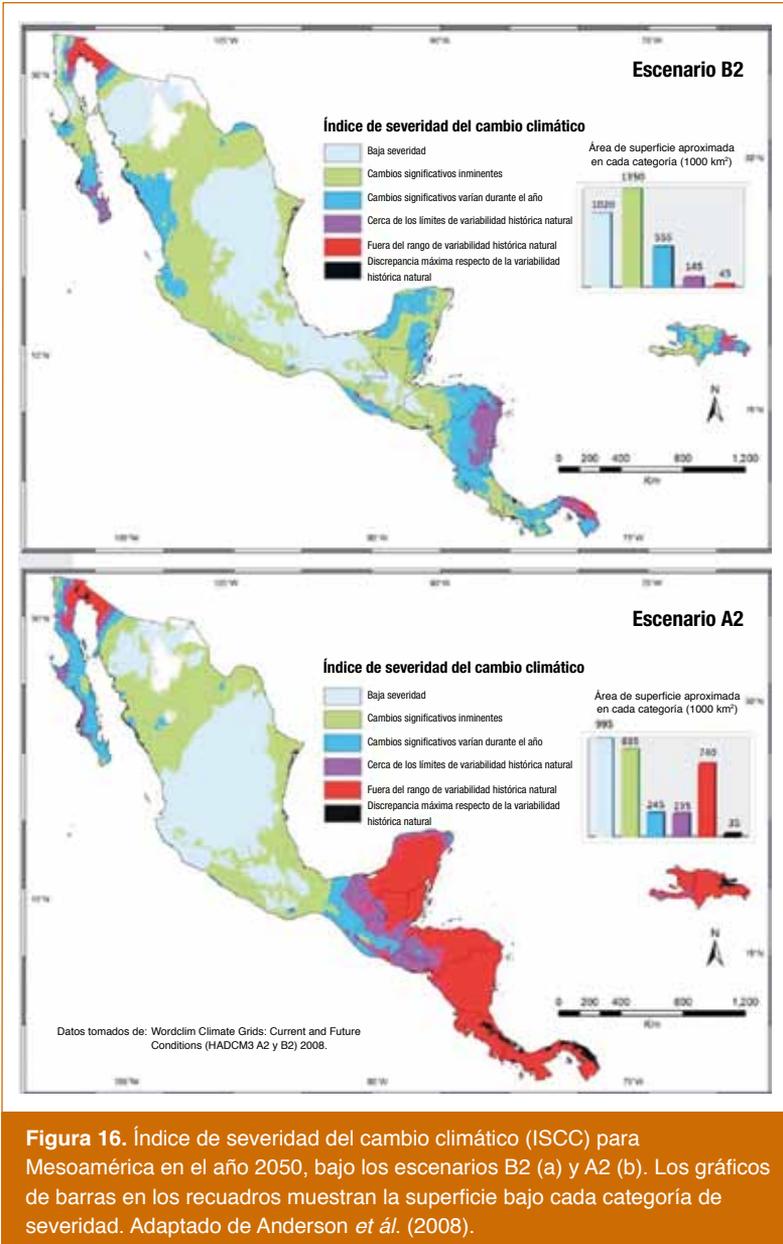
histórica natural del clima en dicho sitio. Los datos para calcular el ISCC provienen de Worldclim. Aunque el ISCC se ha calculado para tres modelos climáticos diferentes (Anderson *et ál.* 2008), los resultados acá expuestos sólo describen los resultados para los escenarios A2 y B2 calculados con el modelo HADCM3. Es importante tener en cuenta que cálculos similares utilizando otros modelos podrían brindar resultados diferentes.

Bajo el escenario B2 para el 2050, el ISCC sugiere muy pocos impactos significativos, que se concentran sobre todo en la costa este de Nicaragua y el extremo sur de Panamá. En contraste, bajo el escenario A2 para el 2050, prácticamente toda Mesoamérica experimentaría cambios significativos en sus condiciones climáticas (color rojo en la Figura 16). La severidad de los cambios climáticos sería máxima en la costa caribe de Costa Rica y Panamá (color negro en la Figura 16). Las diferencias entre ambos escenarios ponen en evidencia la importancia de implementar acciones de mitigación, para así reducir los posibles efectos del cambio climático.

Todos los ecosistemas de Mesoamérica se verán afectados en menor o mayor medida por el cambio climático. En el escenario A2, al menos un 25% del área bajo bosques latifoliados, bosques de coníferas, manglares, bosques mixtos, bosques de matorral, humedales y agricultura experimentarán cambios significativos inminentes. El ISCC indica que aproximadamente el 15% del área cubierta por bosques latifoliados y agricultura, y entre un 5% y 10% del área bajo sabanas y manglares experimentarían cambios climáticos fuera del rango de su variabilidad histórica natural.

### **Ecosistemas terrestres**

Al igual que en la Amazonia, los bosques de Centroamérica tienen un alto riesgo de reducir su área debido al aumento de temperatura. Es probable que los bosques sean reemplazados por sabanas, ecosistemas más resistentes a las múltiples influencias causadas por la temperatura, las sequías y fuegos. Aunque el fuego podría convertirse



**Figura 16.** Índice de severidad del cambio climático (ISCC) para Mesoamérica en el año 2050, bajo los escenarios B2 (a) y A2 (b). Los gráficos de barras en los recuadros muestran la superficie bajo cada categoría de severidad. Adaptado de Anderson *et al.* (2008).

en un elemento modificador común en los ecosistemas centroamericanos, no se espera que sea un factor determinante en la desaparición de los bosques. La incidencia futura de incendios y su influencia sobre los ecosistemas es un área poco estudiada en Mesoamérica.

En los bosques húmedos de bajura se ha documentado cómo la productividad se reduce y la mortalidad aumenta durante años cuando prevalecen altas temperaturas y baja precipitación. Por otro lado, investigaciones realizadas en Brasil indican que el dinamismo (mayor crecimiento, mayor mortalidad, aumento de especies adaptadas a disturbios) de los bosques húmedos parece estar en aumento, posiblemente debido al aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico y cambios en el clima. Por lo tanto, es de esperar que los bosques mesoamericanos pudieran responder de una forma similar.

La altura de la capa de nubes durante la estación seca se ha ido elevando a una tasa de 2 m por año debido en parte a la deforestación. Si este aumento continúa y la temperatura también aumenta 1 °C ó 2 °C en los próximos 50 años, los bosques nubosos de altura se verían amenazados. En lugares de menor elevación o en cumbres aisladas, algunas especies de plantas y animales podrían extinguirse porque el rango de elevación no les permitiría adaptarse naturalmente al incremento de la temperatura. Esto podría tener efectos negativos severos sobre la diversidad y la composición de las especies. Por ejemplo, en Monteverde, Costa Rica, la disminución en el número de días nublados se asocia fuertemente con una reducción del 40% en las poblaciones de anfibios. Se sabe además que una menor humedad relativa produce la muerte de epífitas y otras plantas.

Las poblaciones de anfibios (sapos y ranas, principalmente) se ven afectadas en los bosques nubosos después de años de baja precipitación. También se han encontrado nexos entre temperaturas más altas y la extinción de ranas causadas por patógenos. En Costa Rica, la extinción del sapo dorado (*Bufo periglenes*) se atribuye en parte al aumento de la temperatura en su hábitat, lo que propicia

la proliferación de un hongo cutáneo. Los cambios de temperatura afectarían los patrones migratorios de ciertas especies y alterarían la fenología (acontecimientos biológicos como la floración y fructificación de plantas, épocas de reproducción) de otras. Por ejemplo, el rango de elevación de algunos pájaros del bosque tropical de Costa Rica ha aumentado conforme aumenta la temperatura.

### **Ecosistemas acuáticos**

El IPCC estima que los impactos que traerían consecuencias socioeconómicas serias son las siguientes: desplazamiento de la población, cambios en los regímenes de tormentas, aumento de la erosión y modificación de la morfología costera, desplazamiento de áreas de cultivo, alteración del acceso a zonas de pesca, impactos negativos en la biodiversidad (incluyendo manglares y humedales), salinización y sobreexplotación de recursos hídricos (incluyendo agua subterránea, lo que afectaría la disponibilidad de agua potable para las poblaciones costeras), contaminación y acidificación de ambientes marinos y costeros.

### **Sistemas de agua dulce**

El IPCC considera que los sistemas de agua dulce son muy sensibles al cambio climático. Sin embargo, no se tienen muchos estudios de cómo los cambios en la temperatura podrían afectar especies de ríos y lagos. Es de esperar que la sola disminución del caudal de los ríos y reservorios de agua afecte negativamente a las especies que allí se desarrollan. Estudios realizados en otras latitudes indican que el aumento de la temperatura del agua modificaría los ciclos térmicos de los lagos y la solubilidad del oxígeno y otros elementos, lo que afectaría la estructura y función de estos ecosistemas.

Los efectos del cambio climático sobre los humedales son todavía muy inciertos y con frecuencia no se incluyen en los modelos globales de los efectos del cambio climático. Sin embargo, en términos generales, el aumento de la temperatura y del nivel del mar, los cambios en la precipitación y una mayor evapotranspiración, junto con

los cambios del uso del suelo y la sobre explotación del agua, degradarán estos bienes y servicios. Estos cambios podrían afectar a las aves acuáticas que dependen de los humedales como hábitat y es posible que contribuyan a los procesos de desertificación.

### **Manglares y arrecifes de coral**

Los manglares y los arrecifes son hábitats altamente interconectados. Los arrecifes, al igual que los manglares, estabilizan y protegen los paisajes costeros, contribuyen al mantenimiento de la calidad de agua costera y funcionan como hábitat principal para muchos mamíferos, aves, reptiles y peces, muchos de los cuales tienen importancia comercial. Los efectos del cambio climático se suman a aquellos producidos por la gran cantidad de sedimentos provenientes de la actividad agrícola en los países del arrecife mesoamericano.

Los manglares serán posiblemente los ecosistemas costeros más afectados por el aumento en el nivel del mar, en la temperatura y la mayor frecuencia e intensidad de huracanes y tormentas. Obviamente, ello traerá un impacto sobre la actividad pesquera y la industria alimenticia basada en productos marinos. En el área de arrecifes de Mesoamérica, la abundancia de peces de algunas especies puede ser hasta 25 veces mayor cerca de los manglares que en áreas donde ya han sido destruidos<sup>8</sup>. La pérdida de los manglares provocaría una disminución de esta diversidad. En países como Belice, los manglares también actúan como zonas de amortiguamiento contra los efectos directos producidos por el oleaje, protegiendo cerca de la mitad de la longitud de la costa y hasta un 75% de las costas de los cayos. La degradación de estos ecosistemas aumentaría la vulnerabilidad de la infraestructura costera.

Centroamérica posee la segunda barrera de arrecifes de coral más grande del mundo, la cual se extiende por 1.000 km desde el noreste

<sup>8</sup> <http://central-america.panda.org/about/countries/belice/?uNewsID=16870>. Consultado el 17-05-2009.

de la península de Yucatán, México, hasta las Islas de la Bahía, Honduras. El aumento de la temperatura del mar y la acidez de las aguas ha provocado la muerte de grandes extensiones de corales. Un aumento de 1 °C en la temperatura del mar provoca episodios de decoloración (a menudo parcialmente reversibles) en los corales, pero un aumento de 3 °C puede provocar su muerte. Un incremento en la temperatura del agua también puede aumentar la incidencia de enfermedades que afectan a los corales y pastos marinos y, además, influenciar la cantidad y distribución de organismos marinos. Con una concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico mayor que 450 ppm (actualmente es de 384 ppm y continúa en aumento), la diversidad coralina se perdería debido a la acidificación del agua.

Un estudio basado en datos del período 1977–2001 revela que la cubierta de coral de los arrecifes del Caribe disminuyó en promedio un 17% a lo largo de un año tras el paso de un huracán; ocho años después del impacto no había evidencias de recuperación. Después del paso de los huracanes Emily y Wilma en 2005, se observaron cambios significativos en la estructura física y la diversidad de especies en los arrecifes de Cozumel. Además de los daños estructurales y biológicos causados por eventos extremos, la degradación de los arrecifes de coral puede tener impactos severos en la economía de los países. En Belice, por ejemplo, el turismo asociado con actividades en los manglares y los arrecifes contribuyeron entre US\$150 y US\$196 millones de dólares (12% al 15% del PIB) en 2007. Además, se estima que la presencia de estos ecosistemas evita pérdidas entre US\$231 y US\$347 millones de dólares al contribuir a mitigar los efectos erosivos y destructivos del mar.

Pese a la relevancia de los impactos del cambio climático sobre los recursos marino-costeros, hay otros factores, como la extracción de recursos; el desarrollo residencial, turístico y comercial; la contaminación acuática por efluentes industriales y desechos urbanos y las actividades agrícolas, que actualmente ejercen mayor presión sobre la biodiversidad de los ecosistemas costeros.

### **Zonas costeras**

Para el 2050–2080 ya se esperan impactos significativos del cambio climático y el aumento del nivel del mar en todas las áreas costeras de Latinoamérica. Con la mayoría de su población, actividades económicas, e infraestructura ubicadas muy cerca del nivel del mar, es muy probable que las zonas costeras (playas, estuarios, lagunas costeras, deltas de ríos) sufran inundaciones y erosión, con graves impactos sobre la población, los recursos y las actividades económicas.

El impacto sobre el turismo costero será serio en Centroamérica, porque ese sector contribuye significativamente al PIB mediante la generación de empleo, la promoción de servicios públicos y rentas al Estado. Asimismo, el sector turismo se verá también afectado por tormentas y el aumento en el nivel del mar. Las costas, ciudades costeras y puertos de Belice, Costa Rica, El Salvador, México y Panamá se encuentran entre las más vulnerables a la variabilidad climática, a los eventos hidrometeorológicos y a los ciclones tropicales y subtropicales. Entre 1909 y 1984, el nivel del mar aumentó 1,3 mm por año en Panamá (aproximadamente 9,8 cm en 75 años); en consecuencia, aumentó también su vulnerabilidad ante mareas extremas. En el sur de México, las zonas de mayor influencia marina llegarían hasta 50 km tierra adentro, a lo largo de ríos y humedales.

### **Pesquerías**

El efecto del cambio climático sobre las pesquerías de agua dulce dependerá de las especies y de las modificaciones climáticas locales. Existe un vacío de información relacionado a muchos aspectos de los ambientes marinos y acuáticos. Por ejemplo, no hay inventarios regionales detallados que documenten la distribución de especies acuáticas y marinas. Además, se necesita información acerca del pH, la salinidad y la temperatura marina a diversas profundidades.

Pese a estas limitantes, se considera muy probable que el cambio climático interactúe con la influencia humana sobre los océanos para afectar negativamente las pesquerías oceánicas. La producción pesquera se

verá muy afectada si los humedales y otros hábitats costeros que sirven como viveros se pierden como consecuencia del aumento del nivel del mar y el aumento de la descarga de sedimentos y desechos agrícolas. En Nicaragua, por ejemplo, se espera una disminución en la producción de camarones, conchas y ostras. Pese a lo anterior, los modelos del IPCC asumen que las pesquerías oceánicas se mantendrán estables o crecerán significativamente, siempre y cuando se corrijan las deficiencias de administración. Esta última suposición es crítica, ya que desde hace muchos años la pesca enfrenta serios problemas de sostenibilidad.

## Agricultura y ganadería

### Generalidades del sector

El sector agrícola está doblemente expuesto porque es vulnerable a los fuertes cambios socioeconómicos que se dan dentro del proceso de globalización económica y, además, es sensible a las variaciones climáticas. Aparte de los efectos puramente climáticos, la producción de alimentos y la seguridad alimentaria están íntimamente relacionadas con la degradación de tierras y con cambios en los patrones de erosión. Se hace necesario modificar los paradigmas de producción agrícola para hacerle frente a los cambios en el potencial productivo y la presión proveniente del aumento de la población.

La presencia de alteraciones climáticas impacta a la agricultura y al medio rural de forma diversa. Los principales efectos directos del cambio climático sobre la agricultura serían en la duración y estacionalidad de los ciclos de cultivo, alteraciones fisiológicas por exceder las temperaturas a las cuales los cultivos están adaptados (lo que provocaría pérdidas en los cultivos), deficiencias de agua (lo que disminuiría la humedad del suelo, así como cambios en la infiltración y escurrimiento) y aumento de la erosión (por la desecación del suelo y la mayor escurrimiento superficial). El aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> tiene el potencial de aumentar la productividad de algunos cultivos, pero este efecto es limitado. Indirectamente, el cambio climático afectaría la

incidencia de plagas y enfermedades, el ciclaje y la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, y aumentaría la propensión a incendios.

Todos estos factores tienen el potencial de reducir la producción agrícola, descapitalizar al sector, reducir empleos, fomentar la migración hacia zonas urbanas y complicar el acceso a fuentes crediticias. La producción agrícola ha sido tradicionalmente una de las principales fuentes de empleo y generadoras de divisas para los países de la región. Aunque la contribución del sector agrícola al PIB se ha reducido desde 1990, todavía representa cerca del 20% en Belice, Guatemala y Nicaragua, entre el 10% y el 20% en Honduras y El Salvador y menos del 10% en Costa Rica, México y Panamá (PNUD 2003). El sector agrícola es donde se ha concentrado la mayor parte de las pérdidas ocasionadas por eventos climáticos extremos. Por ejemplo, el 49% de las pérdidas ocasionadas por el huracán Mitch se dieron en el sector agropecuario, en tanto que las pérdidas por sequías pueden alcanzar hasta un 60%. En México, las sequías representan el 80% de todas las catástrofes agrícolas ocurridas entre 1995 y 2003.

Por otra parte, la agricultura está ligada al mantenimiento de la salud pública a través de su papel como fuente básica de alimentos necesarios para la nutrición. Por ello, los efectos climáticos sobre la agricultura influirían en el bienestar humano e impactarían negativamente el aporte potencial del sector al PIB de los países.

### **Cambios en la producción**

Durante eventos de El Niño/La Niña se han documentado reducciones en el crecimiento de mango y otros cultivos, aumento en la incidencia de plagas y patógenos en maíz, papas, trigo y frijoles y disminución de la producción de leche debido a las mayores temperaturas. Cultivos como el banano, tradicionalmente cultivados en tierras bajas, históricamente han sufrido el embate de eventos extremos de precipitación e inundaciones. Dadas las predicciones climáticas, se espera que las áreas sembradas con banano experimenten aún mayores impactos. En México, cualquier desplazamiento hacia condiciones más cálidas

y secas podría dar origen a un desastre nutricional y económico, porque la agricultura ya está bajo presión por precipitaciones escasas y variables. Los granos básicos también han mostrado variaciones productivas por cambios en el clima. En América del Sur se han reportado incrementos significativos en la producción de soya (38%), maíz (18%), trigo (13%), girasol (12%) y pastizales (7%).

Los cambios en la productividad agrícola en Centroamérica son más variables. En Costa Rica se estima que un aumento de hasta 2 °C beneficiaría la producción de café. Sin embargo, el mismo aumento de temperatura, combinado con una reducción del 15% en la precipitación, reduciría la producción de papa y arroz. En Guatemala, con un aumento de la temperatura de 1,5 °C y una reducción del 5% en la precipitación, la producción de frijoles variaría de -28% a +3%, la de maíz lo haría entre -11% y +8% y la de arroz disminuiría en un 16%. En México, la proporción del territorio nacional apta para el cultivo del maíz de temporal se reduciría de 11% a sólo el 4% (Flores et al. 1996); este sería el sector más vulnerable al cambio climático. En Honduras se estima una reducción del 21% en la producción de maíz para el año 2070. En Panamá se estima una reducción similar en la producción de arroz para el año 2100, aunque en los años 2010 y 2050 se estima un incremento del 9% y una reducción del 34%, respectivamente. En Nicaragua, se espera una disminución drástica de granos básicos, que afectaría la seguridad alimentaria; sin embargo, hay experiencias incipientes de reemplazo de maíz por sorgo en el norte del país. Los departamentos de Chinandega, León, Managua y Masaya, Nicaragua, tendrán caídas severas en los rendimientos productivos en los próximos 50 años. Variaciones en las poblaciones de plagas y enfermedades debidas a los cambios en el clima también podrían jugar un papel en la reducción de la producción agrícola.

Las variaciones en la producción de granos básicos podrían depender, en parte, de la respuesta de estos cultivos a las mayores concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (efecto conocido como “fertilización por CO<sub>2</sub>”). Se ha estimado que si no se consideran los efectos del

CO<sub>2</sub>, la producción de granos se reduciría hasta en un 30% para el año 2080. Por el contrario, si el efecto del CO<sub>2</sub> se toma en cuenta en las predicciones, la producción de granos se reduciría en un 30% en México, pero aumentaría en un 5% en Argentina. Otros cultivos que aumentarían su producción son el maíz, sorgo y la caña de azúcar. Pese a estos aumentos, experimentos de adición de CO<sub>2</sub> han demostrado que el efecto de fertilización es de corta duración y que eventualmente otros elementos críticos para el crecimiento de las plantas (nutrimentos, agua, materia orgánica) van a limitar el aumento de la producción. Un aumento de la temperatura cercano a los 2 °C, combinado con menor disponibilidad de agua, reduciría la producción tropical hasta en un 60%.

En el caso de la ganadería, en Costa Rica se encontró que períodos secos prolongados o temporales pueden afectar la salud del ganado, ya sea por enfermedades y plagas emergentes o por falta de pasto. Además, las mayores temperaturas provocan menores rendimientos debido al estrés térmico que sufren los animales.

## Salud humana

Generalmente, la interacción de factores bióticos, abióticos y socioeconómicos (salud ocupacional, desastres, contaminación) influye en la existencia, exposición y susceptibilidad de un agente infeccioso para provocar una enfermedad a un hospedero. Aspectos demográficos y sociales, como el urbanismo y la migración humana provocada por las sequías, el aumento de la pobreza en áreas urbanas y la degradación ambiental podrían promover nuevas formas de reproducción de vectores y de dispersión de enfermedades. En general, se espera una mayor incidencia de enfermedades transmitidas por vectores (dengue y su variedad hemorrágica, malaria, leishmaniasis y fiebre amarilla). En ellas, la influencia del cambio climático es más bien indirecta puesto que son los vectores los que responden a las fluctuaciones en temperatura, precipitación, radiación solar y

humedad relativa. Se sabe, por ejemplo, que la transmisión del dengue es común en áreas con temperaturas superiores a los 20 °C. En México, se ha demostrado que un aumento de 3 °C ó 4 °C en la temperatura promedio puede duplicar la tasa de transmisión del dengue. Además, en zonas costeras de ese mismo país, los ciclos de transmisión del dengue se correlacionan con la temperatura de la superficie del mar, la temperatura mínima del aire y la precipitación. Algunos modelos predicen un aumento sustancial en la cantidad de personas bajo riesgo de contraer dengue en Honduras y Nicaragua, conforme los límites geográficos de transmisión se desplacen por el aumento de temperatura.

La malaria también aumentaría su distribución geográfica. Esta enfermedad representa un serio riesgo para la salud, sobre todo en El Salvador, donde el riesgo de transmisión es del 100%. Nicaragua prevé un aumento en la incidencia de malaria, con variaciones estacionales, a partir de 2010. Un aumento de 1 °C en la temperatura incrementaría la ocurrencia de malaria en un 1% en México. El riesgo de contraer esta enfermedad será mucho mayor para toda la región en 2030. El aumento de malaria y de la población bajo riesgo de contraerla podría impactar el costo de servicios de salud, incluyendo los tratamientos y los pagos del seguro social.

La leishmaniasis se asocia con sequías prolongadas, mientras que la leptospirosis se relaciona con inundaciones y problemas de anegamiento. Brotes de hantavirus se han reportado en varios países de América Latina, entre ellos Panamá, después de sequías prolongadas.

La incidencia de las enfermedades infecciosas no transmitidas por vectores (cólera, fiebre tifoidea, salmonelosis, shigelosis) también podría aumentar, principalmente por cambios en la distribución y la calidad del agua superficial. Las enfermedades gastrointestinales y respiratorias también serán más comunes. Aunque las enfermedades gastrointestinales pueden responder a la incidencia de inundaciones o sequías, la ausencia de infraestructura básica de higiene,

el hacinamiento de la población y la escasez de agua podrían ser factores dominantes sobre la ocurrencia de estas enfermedades. En Costa Rica, se prevé para el año 2015 un aumento en la incidencia de asma debido en parte al incremento de las fluctuaciones de temperatura y humedad. Posteriormente, los casos de asma podrían disminuir conforme mejore la calidad del aire en la Gran Área Metropolitana (GAM). El efecto más directo del cambio climático en la salud humana es el producido por la insolación, el cual tiene mayor impacto en la población mayor de 65 años y en las personas con enfermedades previas. En México se estima que la mortalidad aumentaría por lo menos en 1% si la temperatura aumenta tan sólo 1 °C.

## Desastres

La región centroamericana es una de las regiones con mayor probabilidad de ocurrencia de desastres, debido a su posición geográfica, sus altos niveles de vulnerabilidad y el incremento de las amenazas naturales y humanas. Los desastres en la región centroamericana han aumentado a una tasa anual del 5% en los últimos 30 años. Los cambios climáticos, por sí solos, no son los responsables de cada uno de los desastres que ocurren en la región. Más bien, existe una interacción de estos con aspectos sociales y de infraestructura. Entre esas interacciones están<sup>9</sup> las siguientes:

- La concentración en zonas de riesgo de grupos sociales con una baja capacidad económica para absorber el impacto de los desastres y recuperarse de sus efectos.
- El establecimiento de asentamientos humanos en áreas propensas a amenazas como laderas de ríos y humedales, combinado con condiciones de vida frágiles e inseguras, con escasa infraestructura social y de servicios.

9 [http://www.sica.int/cepredenac/contexto\\_reg.aspx](http://www.sica.int/cepredenac/contexto_reg.aspx). Última consulta el 23-10-2010.

- El empobrecimiento de las zonas rurales y el incremento progresivo de los niveles de amenaza a través de los procesos de degradación ambiental.
- Una débil capacidad de reducción y gestión del riesgo por parte de instituciones públicas y privadas y de los gobiernos nacionales y locales.

No se han realizado estudios detallados que cuantifiquen los posibles costos futuros asociados con el cambio climático en la región. Sin embargo, análisis de eventos pasados indican que los costos son significativos. Se estima que entre 1970 y 2002, las pérdidas económicas promedio generadas por los desastres en la región superaron los US\$318 millones de dólares anuales. En México, tan sólo el fenómeno de El Niño entre 1997 y 1998 causó pérdidas en las cosechas de aproximadamente US\$204 millones de dólares.

Aunque el número de víctimas fatales debido a desastres naturales ha disminuido desde 1972, la población total afectada se ha incrementado considerablemente. Se calcula que los daños causados por el Huracán Mitch (en 1998) fueron de aproximadamente US\$8,5 billones de dólares, lo que incidió en el retraso del desarrollo económico de la región por una década o más. Los daños por desastres naturales en el 2005 costaron US\$6.448 millones en Mesoamérica y el Caribe. El huracán Stan produjo pérdidas por US\$998 millones de dólares, sólo en Guatemala. Esto equivale a poco más del 3,4% del PIB de 2004, o al 39% de la formación bruta de capital en construcción de ese país, lo cual significó un impacto significativo en la tasa de crecimiento del PIB. En comparación, los daños provocados por el huracán Iván en las Islas Caimán, Granada y Jamaica representaron el 183%, 212% y el 8% del PIB de esos países en 2004. Nicaragua, por otro lado, es el segundo país en el mundo más afectado por el paso de tormentas tropicales. El 25% de su población está en riesgo ante tormentas y huracanes y el 45% ante sequías. En 2007, el Huracán Félix provocó pérdidas por más de US\$300 millones en Nicaragua.

Debido a que los efectos de los desastres son acumulativos y la resiliencia de los sistemas se reduce tras repetidos eventos, la ocurrencia de más de un desastre natural al año podría impactar de manera aún más severa a los países.

## Otros sectores

El cambio climático amenaza con paralizar y revertir avances en el desarrollo humano, tales como la reducción de la pobreza extrema, el fortalecimiento de la salud pública, el mejoramiento de la producción agrícola, la nutrición y la educación.

Un ámbito poco considerado, pero de mucha importancia en la región, es la estabilidad de las poblaciones indígenas que dependen directamente de los diversos recursos que les proporcionan los ecosistemas para satisfacer buena parte de sus necesidades. Por sus características geográficas, demográficas y socioeconómicas, estos son grupos humanos con baja capacidad adaptativa y alta susceptibilidad a los cambios climáticos.



## Bibliografía

- Abramovitz, JN. 2001. Averting natural disasters. *In: State of the World*. Washington, D.C., World Resources Institute. p. 123–142.
- AGROASAMEX, S.A. 2006. La experiencia mexicana en el desarrollo y operación de seguros paramétricos orientados a la agricultura. Querétaro, México. 60 p.
- Aguilar, AG. 2004. Los asentamientos humanos y el cambio climático global. *En: Martínez, J; Fernández, A; Osnaya, P. (Eds.). Cambio climático: una visión desde México*. México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. p. 265–279.
- Aguilar, E; Peterson, TC; Ramírez Obando, P; Frutos, R; Retana, JA; Solera, M; Soley, J; González García, I; Araujo, JM; Rosa Santos, A; Valle, VE; Brunet, M; Aguilar, L; Álvarez, L; Bautista, M; Castañón, C; Herrera, L; Ruano, E; Sinay, JJ; Sánchez, E; Hernández Oviedo, GI; Obed, F; Salgado, JE; Vázquez, JL; Baca, M; Gutiérrez, M; Centella, C; Espinosa, J; Martínez, D; Olmedo, B; Ojeda Espinoza, CE; Núñez, R; Haylock, M; Benavides; Mayorga, R. 2005. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *Journal of Geophysical Research*. 110:D23107. 15p.
- Aguilar, MY; Tobar, JM; Quiñonez, JC; Rivas, T. 2007. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de los pobladores rurales de la planicie costera central de El Salvador. San Salvador, El Salvador, GEF, PNUD. 185 p. +Anexos.
- Aiba, SI; Kitayama, K. 2002 Effects of the 1997–98 El Niño drought on rain forests of Mount Kinabalu, Borneo. *J. Trop. Ecol.* 18: 215–230.
- Alexander, LV; Zhang, X; Peterson, TC; Caesar, J; Gleason, B; Klein Tank, AMG; Halock, M; Collins, D; Trewin, B; Rahimzadeh, F; Tagipour, A; Rupa Kumar, K; Revadekar, J; Griffiths, G; Vincent, L; Stephenson, DB; Burn, J; Aguilar, E; Brunet, M; Taylor, M; New, M; Zhai, P; Rusticucci, M; Vasquez-Aguirre, JL. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.* 111(D05109): 22 p.
- Alfaro, E; Cid, L. 2000. Response of air temperatures over Central America to oceanic climate variability indices. *Top. Meteorol. Oceanogr.* 7(1): 63–72.
- Álvarez-Filip, L; Nava-Martínez, G. 2006. Reporte del efecto de los

- huracanes Emily y Wilma sobre arrecifes de la costa Oeste del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Cozumel, México, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 14 p.
- Alvarez-Filip, L. and Nava-Martinez, G. 2006. Reporte del efecto de los Huracanes Emily y Wilma sobre arrecifes de la costa Oeste del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Parque Nacional Arrecifes de Cozumel, Departamento de Monitoreo y Vinculacion Científica. Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México. 14p.
- Anderson, ER; Cherrington, EA; Flores, AI; Perez, JB; Carrillo R; Sempris, E. 2008. Potential impacts of climate change on biodiversity in Central America, Mexico and the Dominican Republic. Panamá City, Panamá, CATHALAC/USAID. 105 p.
- Arriaga, L; Gómez, L. 2004. Posibles efectos del cambio climático en algunos componentes de la biodiversidad de México. *En: Martínez, J; Fernández, A; Osnaya, P. (Eds.). Cambio climático: una visión desde México.* México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. p. 254–265.
- Bates, BC; Kundzewicz, ZW; Wu, S; Palutikof, JP. (Eds.). 2008. El cambio climático y el agua. Ginebra, Suiza, Secretaría del IPCC. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 224 p.
- Belice. 2002. First National Communication to the Conference of the Parties of the United Nations Framework Convention on Climate Change. Belmopan, Belice. 68p.
- Bergkamp, G; Orlando, B. 1999. Los humedales y el cambio climático: examen de la colaboración entre la Convención Marco sobre los Humedales (Ramsar, Irán 1971) y la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. Consultado el 15-05-2009. Disponible *En:* [http://www.ramsar.org/key\\_unfccc\\_bkgd\\_s.htm](http://www.ramsar.org/key_unfccc_bkgd_s.htm)
- Burke, L; Sugg, Z. 2006. Modelamiento hidrológico de la descarga de las cuencas hidrológicas en el Arrecife Mesoamericano: Síntesis del análisis. Washington, D.C., World Resources Institute. 44 p.
- Calvo, E; Campos, M; Carcavallo, R; Cerri, CC; Gay-García, C; Mata, LJ; Saizar, A; Aceituno P; Andressen, R; Barros, V; Cabido, M; Fuenzalida-Ponce, H; Funes, G; Galvao, C; Moreno, AR; Vargas, WM; Viglizzo, EF; de Zuviría, M. 2000. Impactos regionales del cambio climático: evaluación de la vulnerabilidad: América Latina. Osvaldo F. Canziani y Sandra Diaz (eds.). Cambridge, Reino Unido, IPCC. Informe especial del Grupo de trabajo II del IPCC. 45 p.
- Campos, M. 1998. Cambio climático en Centroamérica. CRHH/SICA. 17 p. Última consulta 10-23-2010. Disponible *En:* <http://www.aguayclima.com/pdf/CambioClimaticoenCentroamerica.pdf>

- CATHALAC (Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe), PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo), GEF (Global Environment Facility). 2008. Fomento de las capacidades para la etapa II de adaptación al cambio climático en Centroamérica, México y Cuba. Síntesis regional. Panamá, Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe. 175 p.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina). 2005. Efectos en Guatemala de las lluvias torrenciales y la tormenta tropical Stan, octubre de 2005. Guatemala, Secretaría General de Planificación y Programación de Guatemala. 122 p.
- Christensen, JH; Hewitson, B; Busuioic, A; Chen, A; Gao, X; Held, I; Jones, R; Kolli, RK; Kwon, W-T; Laprise, R; Magaña Rueda, V; Mearns, L; Menéndez, CG; Räisänen, J; Rinke, A; Sarr, A; Whetton, P. 2007. Regional climate projections. *In*: Solomon, S; Qin, D; Manning, M; Chen, Z; Marquis, M; Averyt, KB; Tignor, M; Miller, HL. (Eds.). *Climate Change 2007: The physical science basis*. Cambridge, United Kingdom / New York, USA, Cambridge University Press. Contribution of IPCC Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- CICC (Comisión Intersecretarial de Cambio Climático). 2007. Estrategia Nacional de Cambio Climático. México, SEMARNAT, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. 157 p.
- Clark, DA; Piper, SC; Keeling, CD; Clark, DB. 2003. Tropical rain forest tree growth and atmospheric carbon dynamics linked to inter annual temperature variation during 1984–2000. *PNAS* 100(10):5852–5857.
- CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). 1992. Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. Nueva York, EEUU, Naciones Unidas. 26p.
- Conde, C; Ferrer, RM; Gay, C; Araujo, R. 2004. Impacto climático e la agricultura de México. *En*: Martínez, J; Fernández, A; Osnaya, P. (Eds.). *Cambio climático: una visión desde México*. México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. p. 227–238.
- Condit, R; Hubbell, SP; Foster, RB. 1995. Mortality rates of 205 neotropical tree and shrub species and the impact of a severe drought. *Ecol. Monogr.* 65: 419–439.
- Cooper, E; Burke, L; Bood, N. 2009. Coastal Capital: Belize: The economic contribution of Belize's coral reefs and mangroves. Washington, D.C. World Resources Institute. 53 p.
- Cuéllar, N; Kandel, S. 2008. ¿Mitigación ó adaptación en Centroamérica?: Construyendo una agenda propia frente al cambio climático. Aportes para el diálogo. El Salvador, Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente. 16 p.
- Curtis, S. 2002. Interannual variability of the bimodal distribution of summertime rainfall over Central America and tropical storm activity in the far-eastern Pacific. *Climate Research* 22: 141–146.

- Díaz-Ambrona, CGH. 2004. Global climate change and food security for small farmers in Honduras. *In*: Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia. Última consulta 10-23-2010. Disponible *En*: [http://www.cropscience.org.au/icsc2004/poster/2/6/941\\_diazambbronacgh.htm?print=1](http://www.cropscience.org.au/icsc2004/poster/2/6/941_diazambbronacgh.htm?print=1)
- Enquist, CAF. 2002. Predicted regional impacts of climate change on the geographical distribution and diversity of tropical forests in Costa Rica. *Journal of Biogeography* 29(4): 519–534.
- Flannery, T. 2006. *The weather makers; how man is changing the climate and what it means for life on Earth*. New York, Grove Press. 360 p.
- Flores, E. M., R. Araujo, E. Betancourt y D. Liverman. 1996. Comportamiento de la superficie potencialmente apta para el cultivo del maíz de temporal ante un cambio climático. *Memorias del Segundo Taller de Estudio de País: México Ante el Cambio Climático*, 8 a 11 mayo, 1996. Pp.179-184. Cuernavaca, Morelos, México.
- Foster, P. 2001. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews* 55(1–2): 73–106.
- García-Salgado, M; Camarena, T; Gold, G; Vasquez, M; Galland, G; Nava, G; Alarcón, G; Ceja, V. 2006. Línea base del estado del Sistema Arrecifal Mesoamericano. Belmopan, Belice, Proyecto para la conservación y uso sostenible del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM). Programa de Monitoreo Sinóptico 2004 y 2005. Documento Técnico del SAM No.18. 200 p.
- Giorgi, F. 2006. Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters* 33(L08707): 4 p.
- Gómez, IE; Fernández, W. 1996. Variación interanual de la temperatura en Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos* 3(1): 27–44.
- Gómez-Díaz, JD; Monterroso-Rivas, AI; Tinoco-Rueda, JA; López-García, J. 2007. Comportamiento de la vegetación bajo escenarios de cambio climático en la reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México. *Zonas áridas* 11(1): 61–69.
- Hastenrath, SL. 1967. Rainfall distribution and regime in Central America. *Theoretical and Applied Climatology* 15(3): 201–241.
- Hijmans, RJ; Cameron, SE; Parra, JL; Jones, PG; Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965–1978.
- Hoegh-Guldberg, O; Mumby, PJ; Hooten, AJ; Steneck, RS; Greenfield, P; Gomez, E; Harvell, CD; Sale, PF; Edwards, AJ; Caldeira, K; Knowlton, N; Eakin, CM; Iglesias-Prieto, R; Muthiga, N; Bradbury, RH; Dubi, A; Hatzioiols. 2007. Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science* 318(5857): 1737–1742.
- Hulme, M; Sheard, N. 1999. *Escenarios de cambio climático para Mesoamérica*. Norwich, Reino Unido, Unidad de Investigación Climática. 66 p.

- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2007. Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gaceta del IMTA No. 7.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 1997. Impactos regionales del cambio climático: evaluación de la vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas. Informe especial del Grupo de trabajo II del IPCC. 16 p.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2000. Emissions scenarios: Summary for policymakers. A special report of IPCC Working Group III. 21 p.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2001. Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom / New York, USA, Cambridge University Press. 398 p.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2002. Cambio climático y biodiversidad. Unidad de Apoyo Técnico del Grupo de Trabajo II del IPCC. Documento Técnico V del IPCC. 85 p.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del IPCC. Ginebra, Suiza, IPCC. 104 p.
- Jansen, E; Overpeck, J; Briffa, KR; Duplessy, J-C; Joos, F; Masson-Delmontte, V; Olago, D; Otto-Bliesner, B; Peltier, WR; Rahmstorf, S; Ramesh, R; Raynaud, D; Rind, D; Solomina, O; Villalba, R; Zhang, D. 2007. Palaeoclimate. In: Solomon, S; Qin, D; Manning, M; Chen, Z; Marquis, M; Averyt, KB; Tignor, M; Miller, HL. (Eds.). Climate Change 2007: The physical science basis. Cambridge, United Kingdom / New York, USA, Cambridge University Press. Contribution of IPCC Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jiménez Méndez, M. 2009. Resiliencia de los ecosistemas naturales terrestres de Costa Rica al cambio climático. Tesis. M.S. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 155 p.
- Lawton, RO; Nair, US; Pielke, RA; Welch, RM. 2001. Climatic impact of tropical lowland deforestation on nearby montane cloud forests. *Science* 294: 584-587.
- Levin, K; Pershing, J. 2007. Climate Science 2007: Major New Discoveries. Washington, D.C., World Resources Institute. WRI Issue Brief. 29 p.
- Lieberman, D; Hartshorn, GS; Lieberman, M; Peralta, R. 1990. Forest dynamics at La Selva Biological Station 1969-1985. In: Gentry, AH. (Ed.). Four neotropical rainforests. New Haven, CT, Yale University Press. p. 509-521.
- López-Portillo, J; Ezcurra, E. 2002. Manglares de México: Una revisión. *Madera y Bosques* (Número especial): 27-51.

- Magaña, V; Amador, JE; Medina, S. 1999. The midsummer drought over Mexico and Central America. *Journal of Climate* 12:1577–1588.
- Magrin, C; García, G; Cruz Choque, D; Giménez, JC; Moreno, AR; Nagy, GJ; Nobre, C; Villamizar, A. 2007. Latin America. *In: Parry, ML; Canziani, OF; Palutikof, JP; van der Linden, PJ; Hanson, CE. (Eds.). Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge, UK, Cambridge University Press. Contribution of IPCC Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. P. 581–615.*
- Manzanares, R. 2008. ABC cambio climático, Nicaragua. Managua, Nicaragua, Comité Organizador Permanente, Feria Nacional de la Tierra. 40 p.
- MARENA (Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales). 2001. Primera comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Managua, Nicaragua. 125 p.
- MARENA (Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales). 2007. Nicaragua unida frente al cambio climático. Managua, Nicaragua. 19 p.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SV). 2000. Primera comunicación nacional sobre Cambio Climático; República de El Salvador. San Salvador. 190 p.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, GU). 2001. Primera comunicación nacional sobre cambio climático; Guatemala. Guatemala de la Asunción. 127 p.
- Martínez, B; Conde, C; Sánchez, O; Estrada, F; Fernández, A; Zavala, J; Gay, C. 2009. Escenarios de cambio climático (2030 y 2050) para México y Centroamérica: temperatura y precipitación. Última consulta el 23-10-2010. Disponible *En:* [http://www.atmosfera.unam.mx/cclimat/index.php?option=com\\_content&view=article&id=61&Itemid=74](http://www.atmosfera.unam.mx/cclimat/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=74)
- Meehl, GA; Stocker TF; Collins, WD; Friedlingstein, P; Gaye, AT; Gregory, JM; Kitoh, A; Knutti, R; Murphy, JM; Noda, A; Raper, SCB; Watterson ,IG; Weaver, AJ; Zhao, Z-C 2007. Global climate projections. *En:* Solomon, S; Qin, D; Manning, M; Chen, Z; Marquis, M; Averyt, KB; Tignor, M; Miller, HL. (Eds.). *Climate Change 2007: The physical science basis. Cambridge, United Kingdom / New York, USA, Cambridge University Press. Contribution of IPCC Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- Mendoza, F; Chévez, M; González, B. 2001. Sensibilidad de las zonas de vida de Holdridge en Nicaragua en función del cambio climático. *Revista Forestal Centroamericana* (33): 17–22.
- Millard, P; Sommerkorn, M; Grelet, G. 2007. Environmental change and carbon limitation in trees: a biochemical, ecophysiological and ecosystem appraisal. *New Phytologist* 175: 11–28.
- MINAE (Ministerio del Ambiente y Energía); IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2000. Primera comunicación nacional ante la Convención

- Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático; Costa Rica. San José, Costa Rica. 115 p.
- MINAE (Ministerio del Ambiente y Energía); IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2007. Adaptación del sistema hídrico de la zona noroccidental de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica al cambio climático; Riesgo futuro. San José, Costa Rica. 34 p.
- Ministry of Natural Resources, the Environment, Commerce and Industry, BE. 2002. First National Communication to the Conference of the Parties of the United Nations Framework Convention on Climate Change. Belmopan, Belice. 68 p.
- Moreno, ML; Alfaro, EJ. 2007. Variabilidad climática y producción de caña de azúcar en Costa Rica. *Ambientico* 165:15–18.
- Nakagawa, M; Tanaka, K; Nakashizuka, T; Ohkubo, T; Kato, T; Maeda, T; Sato, K; Miguchi, H; Nagamasu, H; Ogino, K; Teo, S; Hamid, AA; Seng, LH. 2000. Impact of severe drought associated with the 1997–1998 El Niño in a tropical forest in Sarawak. *J. Trop. Ecol.* 16: 355–367.
- Nakicenovic, N; Swart, R. (Eds.). 2000. Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of IPCC Working Group III. Cambridge, United Kingdom / New York, USA, Cambridge University Press. 599 p.
- Nepstad, DC; Moutinho, P; Dias-Filho, MB; Davidson, E; Cardinot, G; Markewitz, D; Figueiredo, R; Vianna, N; Chambers, J; Ray, D; Guerreiros, JB; Lefebvre, P; Sternberg, L; Moreira, M; Barros, L; Ishida, FY; Tohlver, I; Belk, E; Kalif, K; Schwalbe. 2002. The effects of partial throughfall exclusion on canopy processes, above ground production, and biogeochemistry of an Amazon forest. *J. Geophys. Res.* 107: 1–18.
- Ortiz-Pérez, MA; Méndez-Linares, AP. 1999. Escenarios de vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en la costa mexicana del Golfo de México y el Mar Caribe. *Boletín Investigaciones Geográficas* 39:68–81.
- Palma Grayeb, MGBE; Conde Álvarez, AC; Morales Cortez, RE; Colorado Ruiz, G. 2007. Escenarios climáticos; Plan Estatal de Acción Climática para el Estado de Veracruz. Memoria del XVI Congreso Mexicano de Meteorología. Veracruz, México, Organización Mexicana de Meteorólogos. 10 p.
- Patz, JA; Campbell-Lendrum, D; Holloway, T; Foley, JA. 2005. Impact of regional climate change on human health. *Nature* 438: 310–317.
- Phillips, OL; Malhi, Y; Higuchi, N; Laurance, WF; Núñez, PV; Vásquez, RM; Laurance, SG; Ferreira, LV; Stern, M; Brown, S; Grace, J. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forests: Evidence from long-term plots. *Science* 282: 439–442.
- Phillips, OL; Vásquez Martínez, R; Arroyo, L; Baker, TR; Killeen, T; Lewis, SL; Malhi, Y; Monteagudo Mendoza A; Neill, D; Núñez Vargas, P; Alexiades, M; Cerón, C; Di Fiore, A; Erwin, T; Jardim, A; Palacios, W; Saldias, M; Vincenti, B. 2002. Increasing dominance of large lianas in Amazonian forests. *Nature* 418: 770–774.

- Phillips, OL; Gentry, AH. 1994. Increasing turnover through time in tropical forests. *Science* 263(5149): 954–958.
- Piedra, L; Piedra, K. 2007. Previsible impacto del cambio climático sobre el manglar de Guacalillo, Costa Rica. *Ambientico* 165: 31–34.
- PNUD (Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo). 2007. Informe sobre desarrollo humano 2007–2008. La lucha contra el cambio climático: Solidaridad frente a un mundo dividido. Nueva York. 386 p.
- Porter, J; Parry, M; Carter, T. 1991. The potential effects of climatic change on agricultural insect pests. *Agricultural and forestry meteorology* 57: 221–240.
- Potts, MD. 2003. Drought in a Bornean everwet rain forest. *J. Ecol.* 91: 467–474.
- Pounds, A., Fogden, M.P.L., Campbell, J.H., 1999. Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature* 398:611–615.
- Pounds, JA; Fogden, MPL; Savage, JM; Gorman, GC. 1997. Tests of null models for amphibian declines on a tropical mountain. *Conservation Biology* 11(6):1307–1322.
- Ramírez, P. 2005. Climate, climate variability and climate change in Central America: Review of experiences, actors and needs in tropical forest climate change vulnerability and adaptation in Central America. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Consultancy Report for the Tropical Forest and Climate Change Adaptation (TroFCCA) Project. 48 p.
- Ramírez, P. 2007. Una revisión de modelos climáticos y la proyección de escenarios de cambio climático en América Central. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Informe de consultoría para el Proyecto Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático en América Central (TroFCCA). 8 p.
- Rausher, SA; Giorgi, F; Diffenbaugh, NS; Seth, A. 2008. Extension and intensification of the Meso-American mid-summer drought in the twenty-first century. *Climate Dynamics* 31: 551–571.
- Retana, J; Rosales, R. 2001. Efecto de la variabilidad climática sobre la producción bovina de carne en la Región Chorotega de Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos* 8(1): 55–59.
- Santos, CG; García, S. 2008. Climate change vulnerability and adaptation assessment for sugarcane & citrus: Final report. Belize Second National Communication (SNC) Project. Belmopan, Belice, UNDP, Caribbean Community Climate Change Centre. 54p.
- Schlesinger, WH; Andrews, JA. 2000. Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry* 48: 7–20.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 1997. Primera comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático; México. México, D.F. 149 p.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca); PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2006. El cambio climático en América Latina y el Caribe. México, D.F. PNUMA Oficina Regional para América Latina y el Caribe. 129 p.

- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca); INE (Instituto Nacional de Ecología). 2007. Tercera Comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático; México. México, D.F. 208 p.+Anexos.
- SERNA (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente). 1997. Primera comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático; Honduras. Tegucigalpa. 106 p.
- SICA (Sistema de Integración Centroamericano). 2008. Estrategia regional agroambiental y de salud de Centroamérica, 2009-2024. Consejo de Ministros de Salud de Centroamérica, Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, Consejo Agropecuario Centroamericano. 59 p.
- SICA (Sistema de Integración Centroamericano); CRRH (Comité Regional de Recursos Hidráulicos); CIGEFI-UCR (Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica). 2006. Impacts and adaptation to climate change and extreme events in Central America (AIACC-LA06). San José, Costa Rica. 125 p. Última consulta 10-23-2010. Disponible En: <http://www.sica.int/busqueda/Centro%20de%20Documentaci%C3%B3n.aspx?IDItem=39446&IdCat=32&IdEnt=879&Idm=1&IdmStyle=1>
- Small, RJO; de Szoeko, SP; Xie, SP. 2007. The Central American mid-summer drought: regional aspects and large scale forcing. Sometido para publicación En: J. Climate. Última consulta 10-23-2010. Disponible En: [ftp://apapane.soest.hawaii.edu/users/justins/papers/3469\\_feb01\\_2007.pdf](ftp://apapane.soest.hawaii.edu/users/justins/papers/3469_feb01_2007.pdf)
- Solomon, S; Qin, D; Manning, M; Chen, Z; Marquis, M; Averyt, KB; Tignor, M; Miller, HL. (Eds.). 2007. Climate Change 2007: The physical science basis. Cambridge, United Kingdom / New York, USA, Cambridge University Press. Contribution of IPCC Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 845 p.
- STARDEX. 2009. Downscaling climate extremes. Final Report. Statistical and Regional dynamical Downscaling of Extremes for European regions. United Kingdom, University of East Anglia, School of Environmental Sciences, Climatic Research Unit. 21 p.
- TNC (The Nature Conservancy). 2008. Evaluación de ecorregiones marinas en Mesoamérica: sitios prioritarios para la conservación en las ecorregiones Bahía de Panamá, Isla del Coco y Nicoya del Pacífico Tropical Oriental y en el Caribe de Costa Rica y Panamá. San José, Costa Rica, Programa Regional de Ciencias, Región de Mesoamérica y el Caribe. 165 p.
- Trouche, G; Hocdé, H; Aguirre, S; Ortega Sequeira, I. 2009. Agricultores, sorgo y cambio climático en el norte de Nicaragua. Revista de Agroecología (marzo): 12-13.
- UNDP (United Nations Development Programme), UNEP (United Nations Environment Programme), The World Bank, WRI (World Resources Institute). 2003. World Resources 2002-2004: Decisions for the Earth: balance, voice, and power. Washington, D.C. 328 p.

- Villalobos, R; Retana, JA. 1999. Efecto del cambio climático en la agricultura; experiencias en Costa Rica. XI Congreso Nacional Agronómico. San José, Costa Rica. p. 367-369.
- Villalobos, R; Retana, JA. 1997. Posibles efectos de un calentamiento global en el cultivo de arroz seco en el Pacífico norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 21(2): 179-188.
- Villers-Ruiz, L; Trejo-Vázquez, I. 1998. Impacto del cambio climático en los bosques y áreas naturales protegidas de México. *Interciencia* 23(1): 10-19.
- Vreugdenhil, D; Meerman, J; Meyrat, A; Gómez, LD; Graham, DJ. 2002. Map of the ecosystems of Central America: Final Report. Washington, D.C., The World Bank. Última consulta 10-23-2010. Disponible En: [http://www.birdlist.org/cam/themes/ecosystems\\_map.htm](http://www.birdlist.org/cam/themes/ecosystems_map.htm)
- Watson, R; Zinyowera, M; Moss, R; Dokken, D. 1997. The regional impacts of climate change: an assessment of vulnerability. Summary for policymakers. Geneva, Switzerland, Report of IPCC Working group II. 16 p.
- Williamson, GB; Laurance, WF; Oliveira, AA; Delamonica, P; Gascon, C; Lovejoy, TE; Pohl, L. 2001. Amazonian tree mortality during the 1997 El Niño drought. *Conserv. Biol.* 14: 1538-1542.
- Zapata Martí, R. 2006. Los efectos de los desastres en 2004 y 2005: la necesidad de adaptación de largo plazo. México, D.F., CEPAL, Sede Subregional de México. Serie Estudios y Perspectivas No. 54. Punto Focal de Evaluación de Desastres. 47 p.

## Anexo 1

### Efectos del cambio climático en diferentes sectores de la sociedad en los países de Mesoamérica

Variables climáticas	Sector					Zonas costeras
	Recursos hídricos	Agricultura	Salud y otros aspectos humanos	Biodiversidad	Recurso forestal	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento de 2 °C a 4 °C al 2050</li> <li>Reducción del 5% a 20% en la precipitación</li> <li>Norte de México con mayores cambios</li> <li>Aumento de tormentas severas y períodos de sequía más extremos y prolongados</li> <li>52% a 58% del país afectado por cambio de clima</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presión moderada a fuerte (10% a 40%) en el sur de México al 2030</li> <li>Estados más vulnerables a la sequía en el sur: Oaxaca, Quintana Roo, Campeche, Chiapas, y el este de la Península de Yucatán</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;40% del país sufrirá cambios en la aptitud para la producción de maíz</li> <li>Superficie apta para maíz de temporal desaparecerá en las regiones sur y sureste</li> </ul>	<p><b>México</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aumenta riesgo de muertes por golpes de calor</li> <li>Incremento de dengue y paludismo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción de servicios ambientales y estabilidad de ecosistemas</li> <li>Especies endémicas muestran una reducción en su área de distribución</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>50% de la superficie de bosques sufrirá cambios</li> <li>Bosques templados húmedos y fríos en las zonas montañosas de Oaxaca y Chiapas serán los más afectados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Golfo de México y del Mar Caribe susceptibles al ascenso del nivel del mar</li> <li>Franja costera no apta para la agricultura se extenderá hacia el interior</li> <li>Zonas costeras afectadas: Yucatán (Los Petenes) y Quintana Roo (Bahía de Sian Ka'an y Chetumal)</li> </ul>

Sector						
Variables climáticas	Recursos hídricos	Agricultura	Salud y otros aspectos humanos	Biodiversidad	Recurso forestal	Zonas costeras
<b>Guatemala</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento de temperatura (1,5 °C a 4,5 °C)</li> <li>Reducción de precipitación todo el año y veranillo más pronunciado</li> <li>Mantenimiento o expansión de las áreas semiáridas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En un escenario pesimista: reducción de 10% a 50% en la escorrentía y disminución de fuentes de agua para consumo humano, animal y para riego</li> <li>En un escenario optimista: la escorrentía podría aumentar 15%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducciones de hasta 66% en la cosecha de algunos granos básicos</li> <li>Pérdida de cosechas de verduras, frutas y cereales en la parte alta de las cuencas, y de café, caña de azúcar y ganado en la costa</li> <li>Respuestas dependen de la región y el cultivo: maíz: -34% a +15%, frijol: -66% a +3%, arroz: -27% a 16%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cambios en patrones estacionales de infecciones respiratorias agudas, enfermedad diarreica aguda y malaria</li> <li>Incremento en enfermedades diarreicas, parasitarias y de la piel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zonas subtropicales sufren una reducción de 32% a 27%; se incrementan las zonas tropicales (Petén, norte de Quiché, Alta Verapaz, Izabal, sur y sur oriente del país)</li> <li>Zonas húmedas y templadas se reducen al 25% de las áreas altas de las cordilleras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modificaciones en cobertura, diversidad, desarrollo y productividad de bosques</li> <li>Se reduce la extensión de bosques de coníferas por un aumento de la zona seca</li> <li>Bosques de mixtos (3,7% del país) serían afectados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento de 6 cm a 34 cm al 2030, según escenario, y asumiendo un aumento de 1,5 °C</li> </ul>

Sector						
Variables climáticas	Recursos hídricos	Agricultura	Salud y otros aspectos humanos	Biodiversidad	Recurso forestal	Zonas costeras
<b>Belize</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento de temperatura entre 0,8 °C y 3 °C</li> <li>Cambios en precipitación de -42% a +18%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento de salinidad de ríos, acuíferos y mantos de agua, lo que afecta la disponibilidad de agua potable</li> <li>Con un metro de aumento en el nivel del mar, todos los cayos perderían sus fuentes de agua potable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción en la producción y calidad de la caña de azúcar, banano y maíz</li> <li>Inundaciones y aumento de salinidad de tierras de cultivo en la costa</li> <li>Mayor erosión del suelo</li> <li>Aumento de plagas y enfermedades agrícolas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inundación afectaría comunicaciones, infraestructura y ciudades</li> <li>El 45% de la población de Belice obligada a migrar tierra adentro</li> <li>Disminución en turismo marino</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mortalidad de corales por mayor temperatura, acidez del agua del mar y daño físico por tormentas</li> <li>Pérdida de hábitat de peces de especies comerciales</li> <li>Reducción del potencial pesquero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cambio de especies, degradación de estructura, efectos de plagas y enfermedades, aumento de incendios en bosques</li> <li>Daños a manglares</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Efectos del aumento del nivel del mar: inundación de humedales, tierras bajas y costas, mayor erosión costera, pérdida de playas</li> <li>Impactos severos sobre la infraestructura costera no muy por encima del nivel del mar</li> <li>Daños en infraestructura y reducción de calidad del agua en granjas de acuicultura</li> <li>Inundación de cayos</li> <li>Aumento del nivel del mar de 11 cm a 55 cm.</li> </ul>

Sector						
Variables climáticas	Recursos hídricos	Agricultura	Salud y otros aspectos humanos	Biodiversidad	Recurso forestal	Zonas costeras
<b>Honduras</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento de temperatura de 1,8 °C a 3,7 °C al 2100</li> <li>Reducción de precipitación de 37% a 8% al 2100</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1276 km<sup>2</sup> de terreno perdidos por inundación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción del 22% en la producción de maíz</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>Manglares, humedales y arrecifes afectados por la elevación del nivel del mar</li> <li>Pérdida de atractivos turísticos</li> </ul>
<b>El Salvador</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento de temperatura de 2,5 °C a 3,7 °C en el 2100</li> <li>Variación en la precipitación de -37% a +11% en el 2100</li> <li>Intensificación del veranillo y sequías</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento de inundaciones</li> <li>Intrusión de agua salada afectaría fuentes de agua potable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción en la producción agropecuaria (granos básicos)</li> <li>Pérdidas por sequía o inundación en el sector agropecuario, de hasta US\$45 millones en el año 2100</li> <li>Pérdidas del 80% en la producción ganadera</li> <li>Pérdidas de infraestructura productiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento de pobreza y empeoramiento de salud, nutrición y educación</li> <li>Reducción en fuentes de empleo en todos los sectores</li> <li>Degradación del potencial turístico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Migración de especies a nuevos hábitats debido al aumento del nivel del mar</li> <li>Reducción o extinción de especies de flora y fauna marina y continental</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pérdida de manglares</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pérdida de 10% a 28% de la superficie del país con un aumento del nivel del mar de 0,13 m a 1,1 m</li> <li>Migración de especies de pesquería a aguas más profundas</li> <li>Reducción de 16% a 23% en el volumen de pesca artesanal de camarón</li> </ul>

Sector						
Variables climáticas	Recursos hídricos	Agricultura	Salud y otros aspectos humanos	Biodiversidad	Recurso forestal	Zonas costeras
<b>Nicaragua</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Precipitación disminuiría de 8% a 37%</li> <li>● Temperatura aumentaría de 0,8 °C a 3,7 °C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Zona Atlántica la menos afectada por disminución del recurso hídrico</li> <li>● Reducción de 34% a 60% en la generación de energía hidroeléctrica en el 2100</li> <li>● Reducción en capacidad de acuíferos</li> <li>● Disminución de la escorrentía de 37% a 57% en el 2100</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Malaria aumenta de 38% a 150%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Las zonas de vida cambiarían en el 72% del país</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Modificaciones en cobertura, diversidad, crecimiento y productividad de bosques</li> </ul>	

Sector						
Variables climáticas	Recursos hídricos	Agricultura	Salud y otros aspectos humanos	Biodiversidad	Recurso forestal	Zonas costeras
<b>Costa Rica</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción de precipitación de 46% a 63%</li> <li>Temperatura aumenta de 3,2 °C a 3,5 °C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Problemas de erosión y sedimentación, con repercusiones sobre el aprovechamiento del recurso y generación de energía hidroeléctrica</li> <li>Variaciones (positivas y negativas, dependiendo del escenario) en escorrentía</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducciones en producción de arroz, frijol y papa</li> <li>Café aumenta la producción con un aumento de 2 °C, pero con buen suministro de agua</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Disminución de zonas de vida montanas y premontanas, muy húmedas y pluviales</li> <li>Bosque muy húmedo tropical y seco serían los más afectados</li> <li>Especies de flora y fauna en el piso basal o tropical serían las más vulnerables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Migración de especies, pérdida de diversidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transgresiones de la línea costera y ampliación de las áreas sujetas a inundación mareal</li> <li>Con 0,3 m de aumento de nivel del mar, 60% de Puntarenas sería inundado (90% con un aumento de 1 m)</li> </ul>

Sector						
Variables climáticas	Recursos hídricos	Agricultura	Salud y otros aspectos humanos	Biodiversidad	Recurso forestal	Zonas costeras
<b>Panamá</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de precipitación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de salinidad en acuíferos costeros</li> <li>• Cambios negativos en la calidad del agua</li> <li>• Disminución de hasta 26% en los caudales de ríos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución en rendimientos de arroz</li> <li>• Favorecimiento de la producción de maíz al 2010; reducción hacia el 2100</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de enfermedades humanas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento en la superficie de zonas de vida más secas</li> <li>• Pérdida de ecosistemas por presión agrícola</li> <li>• Migraciones y pérdida de diversidad biológica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios en composición florística, migración de especies, desaparición de otras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inundaciones y desplazamiento de humedales y costas bajas</li> <li>• Erosión de la línea costera</li> <li>• Aumento de inundaciones por tormentas</li> </ul>

Fuentes: SEMARNAT (1997), SERNA (1997), MARN-SV (2000), MINAE (2000), MARN-GU (2001), MARENA (2001), BELICE (2002), SEMARNAT-INE (2007), CATHALAC et al. (2008), Santos y García (2008).

## Anexo 2

Tratamiento de la incertidumbre científica por parte del IPCC  
(Adaptado de Solomon *et ál.* 2007.)

“Incertidumbre”, en el ámbito científico, es una medida del rango de variabilidad de una determinada medición o de la probabilidad de ocurrencia de un determinado fenómeno. En otras palabras, la incertidumbre científica es una medida de certeza que describe los límites del conocimiento alcanzado. Esta definición contrasta con el uso coloquial de la palabra, el cual se refiere a la falta de conocimiento seguro y claro acerca de algo.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) distingue entre los niveles de confianza los siguientes factores: el conocimiento científico y la probabilidad de ocurrencia de ciertos eventos. El nivel de confianza en la exactitud de un resultado se describe por medio de la siguiente escala:

Nivel de confianza	Exactitud de las afirmaciones
Muy alto	Como mínimo, 9 sobre 10 de estar en lo cierto
Alto	Aproximadamente 8 sobre 10
Medio	Aproximadamente 5 sobre 10
Bajo	Aproximadamente 2 sobre 10
Muy bajo	Menos de 1 sobre 10

La probabilidad de ocurrencia de un evento se expresa en los informes del IPCC mediante la siguiente terminología estándar:

Probabilidad de ocurrencia	Verosimilitud del suceso/resultado
Virtualmente cierto	Superior a 99%
Muy probable	Superior a 90%
Probable	Superior a 66%
Más probable que improbable	Superior a 50%
Medianamente probable	Entre 33% y 66%
Improbable	Inferior a 33%
Muy improbable	Inferior a 10%
Excepcionalmente improbable	Inferior a 1%

