



CUARTO INFORME ESTADO DE LA REGIÓN

Informe final
Efectos del Cambio Climático para Centroamérica

Investigador:
Lenin Corrales

Diciembre, 2010

Nota: Las cifras de las ponencias pueden no coincidir con las consignadas por el Cuarto Informe Estado de la Región en el tema respectivo, debido a revisiones posteriores. En caso de encontrarse diferencia entre ambas fuentes, prevalecen las publicadas en el Informe.

Índice

Resumen	3
Descriptores	3
Principales Hallazgos	3
Introducción	6
Parte 1. Impactos del cambio climático en Centroamérica	7
1.1 Evidencias de cambio climático en la región centroamericana identificadas.....	7
1.1.1 Contexto Global	7
1.1.2 Escenarios y proyecciones	8
1.1.3 Centroamérica y su contribución al cambio global	9
1.1.4 Cambios observados en variables climáticas de la Región	13
1.1.5 Eventos extremos	13
1.2. Escenarios climáticos	15
1.3 Efectos del cambio climático en Mesoamérica	20
1.3.1 Ecosistemas	21
1.3.2 Especies	27
1.3.3 Sectores más vulnerables social, ambiental y económicamente identificados	31
Parte 2. Análisis sobre impactos ambientales en zonas costeras y capacidades de adaptación	35
2.1 Aumento relativo del nivel del mar	35
Fuente: Tomado de Richardson K. et-al. 2009.	37
2.2. Registro del nivel medio del mar en la Región	37
2.3. Observaciones Nivel del Mar en la Región	38
2.4. Escenarios de cambio climático en las zonas costeras de Centroamérica	40
Bibliografía.....	43
Glosario	49

Resumen

El cambio climático se ha posicionado como uno de los temas de mayor relevancia en el debate mundial, sobre gestión ambiental. Nuevas y crecientes evidencias apuntan que, durante el siglo XXI, el planeta sufrirá cambios significativos en las precipitaciones, temperaturas, el nivel de los océanos y la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos.

Centroamérica comparte con el resto de América Latina y el Caribe algunas características particulares para enfrentar los impactos del cambio climático. En ella se localizan algunos de los países con mayor biodiversidad del planeta y alta disponibilidad de agua dulce, también territorios pequeños que pueden ser especialmente afectados por variaciones en la temperatura y la disponibilidad de agua. Si bien el cambio climático es un fenómeno de alcance global, existen medidas para adaptarse a él y mitigar su impacto ambiental, económico y social. Por ello, resulta indispensable que tanto a nivel nacional como regional se tomen medidas y emprendan acciones para hacer frente a uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad.

Descriptor

Cambio Climático, escenarios climáticos, sectores productivos, Gases de Efecto Invernadero (GEI), Convención de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, ecosistemas, zonas costeras.

Principales Hallazgos

- Las pruebas reunidas hasta ahora muestran tendencias a un aumento de la temperatura promedio mundial hasta ahora de 0,6 °C de 1880 al 2005.
- Sigue una tendencia de aumento del CO₂ atmosférico con un valor a setiembre del 2010 de ~390 ppm.
- Todos los escenarios de cambio climático corridos hasta ahora señalan un aumento de la temperatura promedio mundial del orden de 1,8 a 4,0°C para finales del siglo XXI.
- Desde una perspectiva mundial se estima que Centroamérica produce menos del 0,5% de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) de la tierra.
- Las emisiones totales de Centroamérica en el año 2005 fueron de 200 MtCO₂e.
- Los países que mayor aportan en emisiones son Guatemala (45%) seguido de Honduras (31%) y el resto de Centroamérica presenta valores menores al 7%.
- Para el período 1960-2006 todos los países muestran un crecimiento acelerado en la producción de emisiones, siendo Belice, Costa Rica y Honduras los de mayor crecimiento.
- Las emisiones per cápita en los últimos 26 años (1980-2006) de CO₂ (excluyendo el cambio en el uso del suelo) han crecido en todos los países de la región siendo Belice el de mayor crecimiento con 1,4 toneladas métricas por habitante, seguido de El Salvador con 0,7, Costa Rica con 0,6, Honduras 0,5, Panamá con 0,4, Guatemala con 0,3 y Nicaragua con 0,2 toneladas métricas respectivamente.

- Al incluir el cambio en el uso del suelo y todos los gases de efecto invernadero las emisiones per cápita varían, siendo Honduras (9,2 ton CO₂/hab) y Guatemala (7,1) los que presentan mayores valores per cápita de emisiones seguido por Belice (3,9) y Panamá (3,3). Costa Rica (2,5) y Nicaragua (2,5) presentan valores similares y El Salvador (1,8) tiene el valor más bajo para la región en el año analizado.
- Todos los países de la región han ratificado su adhesión a la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas y todos han presentado sus primeras comunicaciones nacionales, solamente Costa Rica ha presentado ya una segunda comunicación.
- En Centroamérica el promedio de temperatura anual ha aumentado en aproximadamente 1 °C desde 1900 y el aumento de días y noches cálidas se incrementaron en un 2,5% y un 1,7% por década, mientras que las noches y días fríos han disminuido -2,2% y -2,4% respectivamente. Los extremos de temperatura muestran aumento de entre 0,2 °C y 0,3 °C por década.
- Los índices de precipitación, a pesar de la gran variabilidad espacial, indican que, aunque no hay aumentos importantes en la cantidad de precipitación si se ha observado una intensificación de las mismas, esto quiere decir que los patrones de precipitación han cambiado de forma que ahora llueve más intensamente en un periodo de tiempo más corto.
- Se ha observado un aumento aparente en la proporción de las tormentas muy intensas desde 1970, en algunas regiones, que es mucho mayor que el simulado en los modelos actuales para este período por lo que es probable que aumente en el futuro la frecuencia de aparición de fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, así como la frecuencia e intensidad de los huracanes en la Cuenca del Caribe.
- El primer aspecto que sobresale sobre los escenarios climáticos futuros para la región de Centroamérica está relacionado a la conclusión de que la región es el punto caliente más prominente de los trópicos del mundo.
- Las simulaciones de escenarios climáticos globales establecen un pronunciado decrecimiento de la precipitación y un aumento en la variabilidad de las mismas conduciendo a una región en el futuro más seca.
- Un aspecto a resaltar de suma importancia está relacionado al hecho de que el calentamiento global podría provocar un cambio en la estacionalidad de la precipitación en Centroamérica lo que podría tener implicaciones importantes para la gestión de los recursos hídricos en el futuro.
- Solamente Costa Rica ha efectuado análisis de escenarios climáticos futuros a una resolución que le permite ver con mayor detalle lo que pasaría en el nivel regional del país.
- Escenarios futuros relacionados con bosques muestran que ocurrirían importantes transiciones en los tipos de bosques pero seguirán predominando en el futuro como vegetación dominante de la región.
- Una cuarta parte de los bosques latifoliados se ubican en zonas de impactos severos del cambio climático de acuerdo a escenarios al año 2050

- Los cambios futuros en la temperatura y la precipitación podrían alterar la cobertura de nubes y con ello afectar gravemente el nivel de vegetación presente en los ecosistemas de bosque nuboso.
- Se han observado cambios en el crecimiento diamétrico de seis especies de árboles del dosel en la Selva, Costa Rica entre el año 1984 y el año 2000, y encontró que las tasas anuales de crecimiento decrecieron constantemente en todas las especies debido a cambios en las temperaturas.
- En la Isla Barro del Colorado en Panamá se encontró que las tasas de disminución del crecimiento de árboles fueron generalizadas y presentaron valores que oscilaban entre un 24% y 71%. Los cambios en el crecimiento se asociaron significativamente con los cambios climáticos regionales.
- Resultados de estudios en Nicaragua y Guatemala muestran cambios importantes en las zonas de vida en el futuro bajo escenarios de cambio climático.
- Bajo escenarios de cambio climático empleando un modelo biogeográfico se determinó que los ecosistemas presentes en todos los sistemas nacionales de áreas protegidas de Centroamérica recibirían un impacto del cambio climático siendo los sistemas de Belice, Guatemala y Honduras los que sufrirían mayor impacto y los sistemas con menos superficie impactada son Costa Rica, Nicaragua y Panamá.
- Se reportan declinaciones en las poblaciones de anfibios y reptiles como consecuencia de cambios en las variables de temperatura y precipitación dentro de los bosques.
- Cambios de clima reportados en Monteverde, Cordillera de Tilarán, Costa Rica, podrían tener consecuencias sobre las distribuciones espaciales y temporales de las especies de colibríes y plantas.
- Un análisis sobre severidad del cambio climático y riqueza de especies muestra que las zonas más extremadamente críticas se encuentran en Costa Rica y Panamá, no obstante todos los países presenta zonas con áreas muy críticas y críticas.
- Varios escenarios proyectan datos consistentes relacionados a una reducción en la producción de arroz a partir del 2010.
- Escenarios al año 2050 muestran una importante reducción en el área disponible para la producción de café en Nicaragua.
- A excepción de la estación Balboa en Panamá, las estaciones de registro del nivel del mar de la región no reportan datos desde 1998 al Servicio Permanente del Nivel Medio del Mar mundial.
- Estudios de tendencias de aumento del nivel del mar en la región muestran un incremento que varía de 1 a 5 mm/año, sin embargo, los autores señalan que estos resultados no son suficientes para concluir que el nivel del mar está elevándose o que la tierra se está hundiendo, pues se podrían estar observadas posiciones extremas en ciclos de largo período.
- Escenarios de aumento del nivel del mar corridos bajo supuesto de aumento de 1 metro a finales de siglo muestran que todas las costas del lado Pacífico y del Mar Caribe de América Central serían afectadas.

Introducción

Para analizar progresivamente los posibles impactos que tendrá este fenómeno en la región, es fundamental recopilar la información científica que ha señalado cuáles son los cambios esperados, los escenarios que dichos cambios generarán y las áreas geográficas y sectores que serán afectados más fuertemente. El cambio climático encuentra a Centroamérica en un marco de alta vulnerabilidad, y con países que tienen importantes debilidades para la adaptación y mitigación. En este sentido, este estudio busca proveer insumos técnicos para la definición de políticas y estrategias por parte de los Estados y las entidades regionales.

El informe está dividido en dos partes; la primera relacionada a los *Impactos del cambio climático para Centroamérica* y la segunda parte relacionada a un *Análisis sobre impactos ambientales en zonas costeras y capacidades de adaptación*.

Parte 1. Impactos del cambio climático para Centroamérica

Objetivo General:

Identificar los principales impactos documentados y proyectados del cambio climático para la región Centroamericana

Objetivos específicos:

- Identificar las principales evidencias de los efectos del cambio climático en la región centroamericana
- Reseñar los escenarios futuros de precipitación y temperatura para la región
- Describir el estado actual del debate científico en la región alrededor de este tema
- Establecer las áreas geográficas de mayor riesgo y vulnerabilidad a la luz de los escenarios de cambio climático para la región
- Determinar los sectores productivos más vulnerables social, ambiental y económicamente de acuerdo con las proyecciones y escenarios de cambio climático para Centroamérica
- Identificar cuáles son los mayores impactos documentados y los riesgos futuros asociados al cambio climático para el patrimonio natural (biodiversidad, agua, bosque) y en materia de uso y ocupación del territorio

Parte 2. Aporte especial: Análisis sobre impactos ambientales en zonas costeras y capacidades de adaptación

Objetivo General:

Identificar los efectos previsibles del cambio climático sobre las zonas costeras de Centroamérica

Objetivos específicos:

- Identificar los posibles impactos del cambio climático sobre los ecosistemas y la biodiversidad de las zonas costeras en la región centroamericana
- Reseñar que implicaciones puede tener el cambio climático para la integridad, uso y ocupación del territorio costero
- Establecer las implicaciones que puede tener el cambio climático en la disponibilidad de recursos naturales en las zonas costeras
- Describir cuáles son las capacidades para la adaptación al impacto de este fenómeno en las zonas costeras y cuáles son los principales desafíos
- Determinar cuáles son las estrategias y propuestas impulsadas en otras regiones y países del mundo en esta materia
- Identificar acciones sugeridas por la comunidad científica en materia de adaptación y mitigación de impactos en esas zonas

Parte 1. Impactos del cambio climático en Centroamérica

1.1 Evidencias de cambio climático en la región centroamericana identificadas

1.1.1 Contexto Global

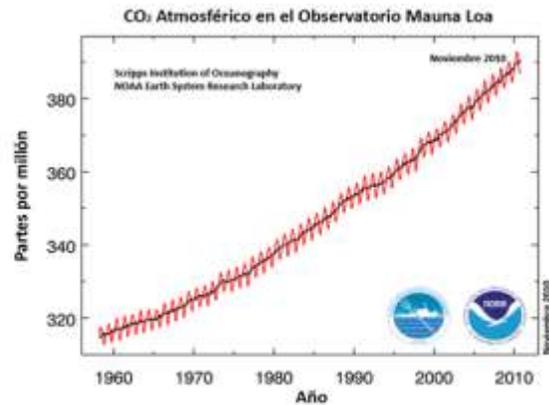
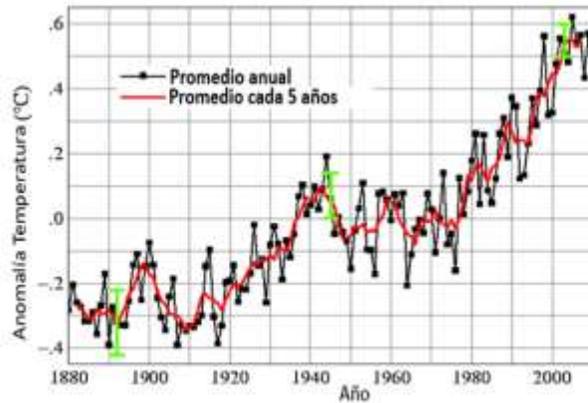
EL cuarto informe de Evaluación del Panel de Expertos de la Conferencia Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC-AR4) señala que las pruebas reunidas hasta ahora muestran tendencias a un aumento de la temperatura promedio mundial (Sako M., 2010) (Ver gráfico 1), a un aumento en las concentraciones de CO₂ atmosférico (NOAA, 2010) (Ver gráfico 2), a la elevación del nivel del mar, a la reducción de la masa de muchos glaciares del mundo y las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida, a una pronunciada disminución de la extensión del hielo marino flotante del Ártico y al calentamiento y descongelamiento del permafrost en el norte de las altas latitudes. Si esta tendencia continua es probable que se tengan impactos sobre los ecosistemas incluyendo pérdida de hábitat, cambios en la vegetación, en la química oceánica, una mayor vulnerabilidad a incendios forestales, infestación de plagas, especies invasoras y un cambio en la productividad agrícola (Serreze M., 2010).

Gráfico 1

Cambio en la temperatura superficial promedio anual del aire. La línea plateada es el índice de la temperatura media de 1880 hasta el presente, con un período base de 1951-1980. La línea negra es el promedio anual y la línea roja es el promedio cada 5 años. Las barras verdes muestran estimaciones de incertidumbre. (Sako, M. 2010.)

Gráfico 2

Valores de CO₂ atmosférico obtenido en el Observatorio Mauna Loa en Hawaii hasta Noviembre 2010 (~390 ppm). (NOAA.2010)



1.1.2 Escenarios y proyecciones

Los escenarios de cambio climático se basan en diferentes modelos de crecimiento económico, crecimiento de la población y la hipótesis sobre adopción de nuevas tecnologías. Gran parte de la atención se centra en tres escenarios; el B1 (Crecimiento con bajas emisiones a un nivel de estabilización del CO₂ de 550 ppm), el A1B (crecimiento moderado de emisiones a un nivel de estabilización de CO₂ de 720 ppm) y un escenario A2 donde no hay estabilización de CO₂ en la atmósfera (Serreze, 2010). Lo anterior reflejado en valores de cambio promedio de la temperatura mundial en el período 2090-2099, con respecto al período base 1980-1999 proyecta cambios en el orden de 1,8 °C, y 4,0 °C (Cuadro 1).

Cuadro 1
Calentamiento medio mundial proyectado para la superficie terrestre a finales del siglo XXI

Caso	Cambio de temperatura (°C a 2090-2099 relativo a 1980-1999) ^a	
	Mejor cálculo	Margen probable
Concentraciones durante el Año constante 2000 ^b	0,6	0,3 - 0,9
Escenario B1	1,8	1,1 - 2,9
Escenario A1T	2,4	1,4 - 3,8
Escenario B2	2,4	1,4 - 3,8
Escenario A1B	2,8	1,7 - 4,4
Escenario A2	3,4	2,0 - 5,4
Escenario A1F1	4,0	2,4 - 6,4

Fuente: IPCC.2007

Notas:

^a Estos cálculos se evalúan a partir de una jerarquía de modelos que abarca un modelo sencillo de clima, varios Modelos de Sistemas Terrestres de Complejidad Intermedia (EMIC), y una gran cantidad de Modelos de Circulación General Atmósfera-Océano (MCMAO).

^b La composición constante para el año 2000 se deriva solamente de MCMAO.

Estas proyecciones no toman en cuenta la retroalimentación del ciclo de carbono que podría eventualmente contribuir a elevar las concentraciones de gases efecto invernadero en la atmósfera produciendo más calentamiento. Una de estas retroalimentaciones proviene de los océanos mediante la acidificación de los mismos lo cual conduce a una reducción en sus capacidades de absorber las emisiones antropogénicas. Otro fenómeno potencial de aporte de gases adicionales lo constituye la liberación del carbono capturado en los suelos del Ártico y subártico, producido gracias a la acción microbiana del suelo a partir del deshielo del permafrost. Esto último es un buen ejemplo de retroalimentación biológica en el clima (Serreze, 2010).

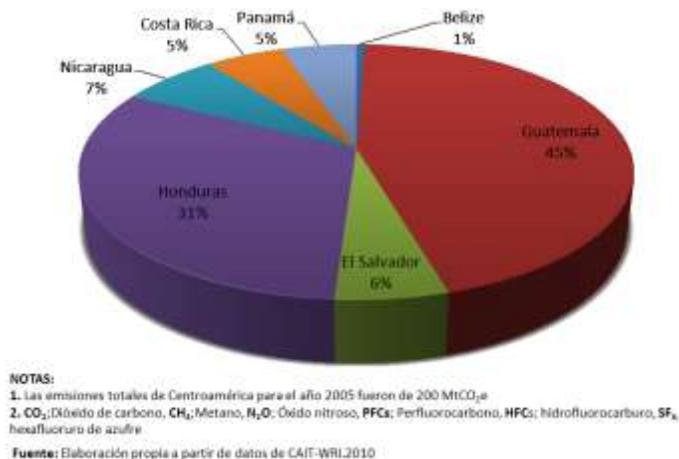
1.1.3 Centroamérica y su contribución al cambio global

Desde una perspectiva mundial se estima que Centroamérica produce menos del 0,5% de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) de la tierra, no obstante, es considerada al mismo tiempo como una de las regiones más vulnerables ante los embates del cambio climático en el futuro (IPCC, 2007B; CEPAL, 2009).

Las emisiones totales de Centroamérica en el año 2005 según datos obtenidos del CAIT-WRI (2010) fueron de 200 MtCO₂e, basados en datos provenientes de Boden, T. et-al. (2009); EDGAR (2009); Houghton, R. (2008); IEA. (2008); EIA. (2008); EPA. (2006) y WorldBank. (2010). Al distribuir porcentualmente los valores para cada uno de los países se obtiene (Gráfico 3) que los países que mayor aportan en emisiones son Guatemala (45%) seguido de Honduras (31%) y el resto de Centroamérica presenta valores menores al 7%, siendo Belice el que menos aporta con el 1% de las emisiones totales para el año evaluado.

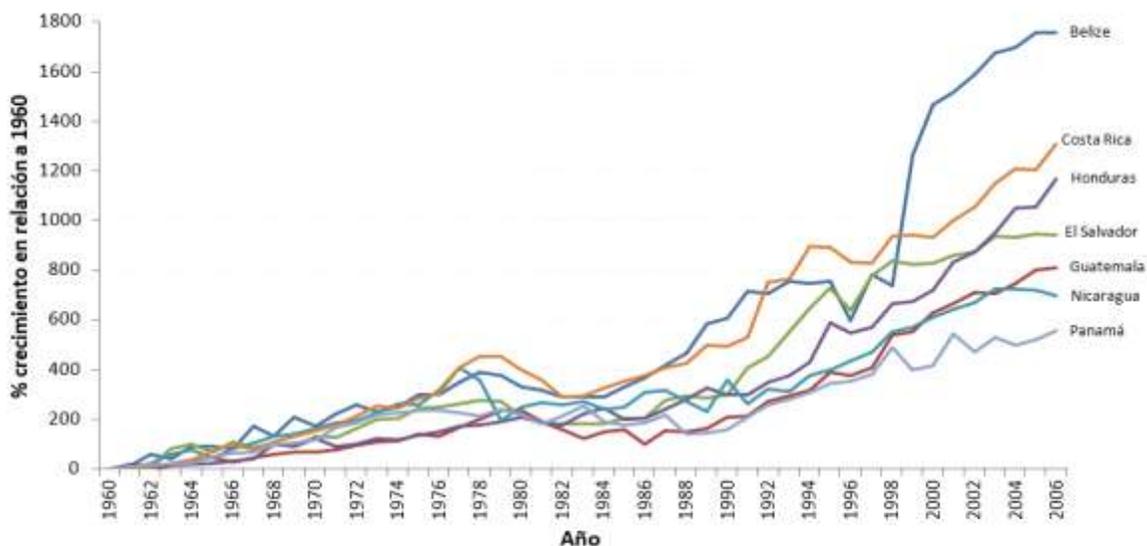
Gráfico 3

Contribución porcentual de los países de Centroamérica en emisiones totales de Gases de Efecto invernadero para el año 2005 en MtCO₂e (Incluye cambios en el uso de la tierra, bunkers y los gases CO₂, CH₄, N₂O, PFCs, HFCs, SF₆)



A pesar del aporte diferenciado de cada uno de los países (Gráfico 3) en las emisiones totales de la región, si observamos el comportamiento en el crecimiento de las emisiones nacionales totales de CO₂ en el período 1960-2006 obtenemos que todos los países muestran un crecimiento acelerado a partir de los años 90s siendo Belice, Costa Rica y Honduras los de mayor crecimiento (Gráfico 4). El valor más alto de crecimiento corresponde a Belice donde sus emisiones totales han crecido 1800% al año 2006 con relación a las emisiones que tenía este país en 1960, a la vez el país con menor crecimiento es Panamá con valores de crecimiento al 2006 del orden del 557% con relación a 1960. Países como Costa Rica y Honduras duplican los valores en el año 2006 con relación a Panamá.

Gráfico 4
Porcentaje de crecimiento de las emisiones nacionales totales de CO₂ en el período 1960-2006 en los países de Centroamérica



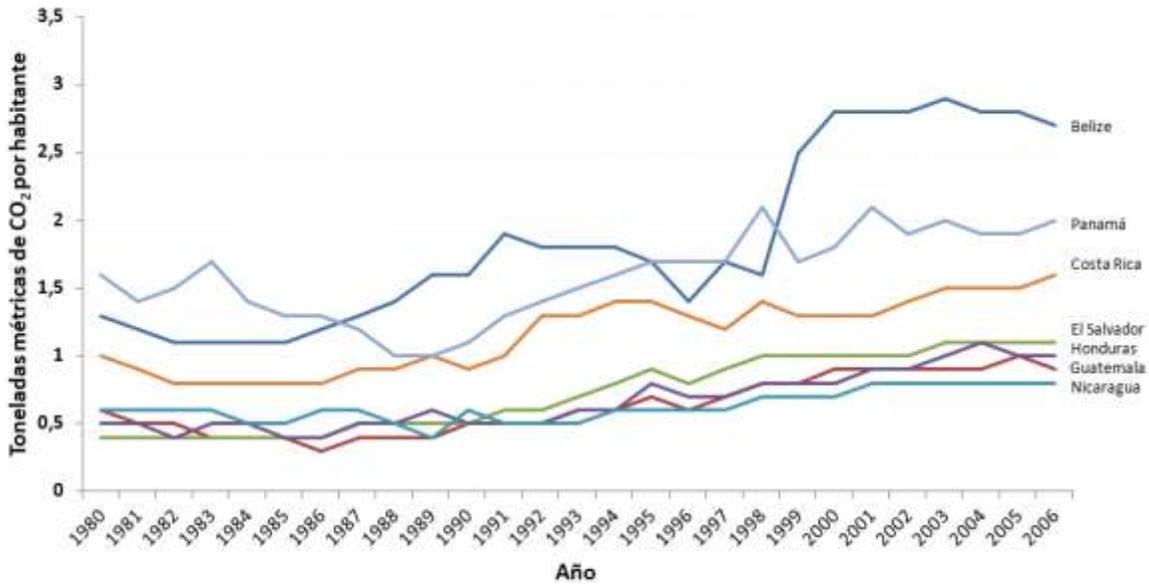
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CAIT-WRI.2010

Las emisiones per cápita en los últimos 26 años (1980-2006) de CO₂ (excluyendo el cambio en el uso del suelo) han crecido en todos los países de la región (Gráfico 5) siendo Belice el de mayor crecimiento con 1,4 toneladas métricas, seguido de El Salvador con 0,7, Costa Rica con 0,6, Honduras 0,5, Panamá con 0,4, Guatemala con 0,3 y Nicaragua con 0,2 toneladas métricas respectivamente.

En el año 2005 los valores per cápita de emisiones de CO₂ (excluyendo el cambio de uso del suelo) fueron para Belice de 2,8 toneladas métricas, seguido de Panamá con 2,0, Costa Rica con 1,6, El Salvador con 1,1, Honduras con 1,0, Guatemala con 0,9 y Nicaragua con 0,8 toneladas métricas respectivamente. No obstante, al considerar todas las emisiones anuales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por habitante para ese mismo año (2005) en los países de Centroamérica (Incluyendo cambios en el uso

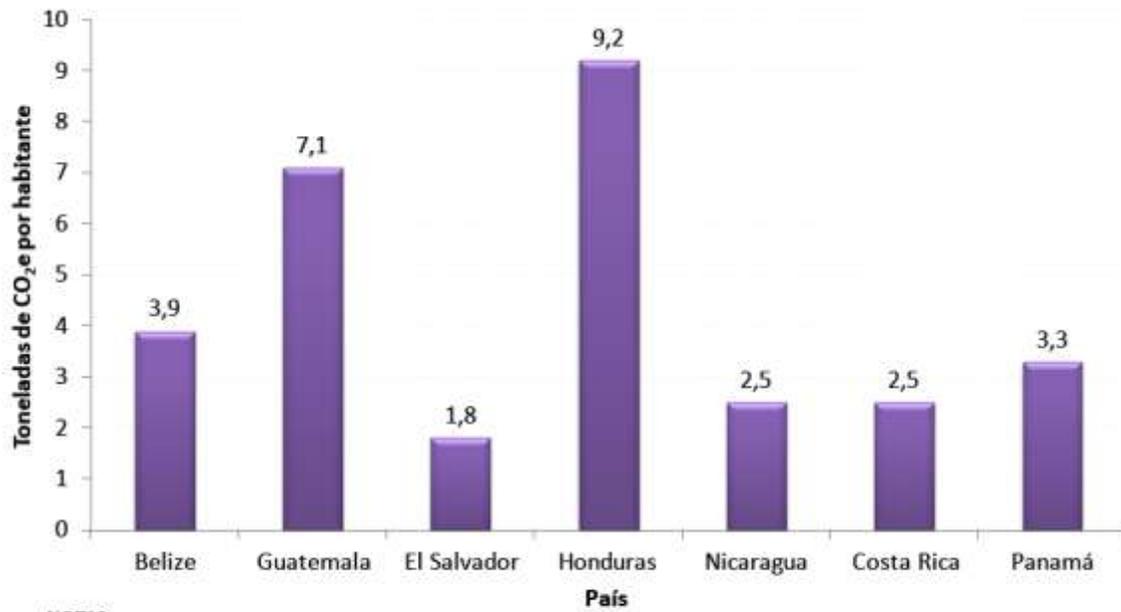
de la tierra, bunkers y los gases CO₂, CH₄, N₂O, PFCs, HFCs, SF₆), el orden varía siendo Honduras y Guatemala los que presentan mayores valores per cápita de emisiones seguido por Belice y Panamá. Costa Rica y Nicaragua presentan valores similares y El Salvador tiene el valor más bajo para la región en el año analizado.

Gráfico 5
Crecimiento de las emisiones per cápita por habitante en el período 1980-2006 en toneladas métricas de CO₂ en los países de Centroamérica (Se excluye cambio en el uso del suelo)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CAIT-WRI.2010

Gráfico 6
Emisiones anuales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por habitante para el año 2005 en los países de Centroamérica (Incluye cambios en el uso de la tierra, bunkers y los gases CO₂, CH₄, N₂O, PFCs, HFCs, SF₆)



NOTAS:

2. CO₂; Dióxido de carbono, CH₄; Metano, N₂O; Óxido nitroso, PFCs; Perfluorocarbono, HFCs; hidrofluorocarburo, SF₆; hexafluoruro de azufre

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CAIT-WRI.2010

Todos los países de la región han ratificado su adhesión a la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas y todos han presentado sus primeras comunicaciones nacionales (Cuadro 2), solamente Costa Rica ha presentado ya una segunda comunicación.

Es importante notar en el cuadro 2 que los años de referencia de los datos en los países andan alrededor de los 16 años exceptuando a Costa Rica en que sus datos de referencia últimos corresponden a 5 años atrás, esto sugiere que el conocimiento sobre las emisiones reales de la región no son bien conocidas actualmente y que se requiere un esfuerzo para conocer con mayor actualidad el aporte en emisiones de los países de la región.

Cuadro 2
Comunicaciones Nacionales ante Convención de Naciones Unidas sobre Cambio Climático

País	Año referencia	I Comunicación	Año referencia	II Comunicación
Belice	1994	2002	-	-
Guatemala	1990	2002	-	-

El Salvador	1994	2000	-	-
Honduras	1995	2000	-	-
Nicaragua	1994	2001	-	-
Costa Rica	1990-1996	2000	2005	2009
Panamá	1994	2001	-	-

Fuente: IPCC, 2010.

1.1.4 Cambios observados en variables climáticas de la Región

En las últimas décadas se ha observado cambios importantes en las precipitaciones y aumentos en las temperaturas que sumado a los cambios en el uso del suelo y a la intensificación de la explotación de recursos naturales ha exacerbado muchos procesos de degradación de suelos en la región latinoamericana en general (Magrin *et al.*, 2007). Un análisis de un conjunto de índices de cambio climático para el período 1961-2003 realizado para la región (Aguilar, E., et al. 2005) puso de manifiesto una tendencia general al calentamiento en la región, con la ocurrencia de un máximo de extremos cálidos y un aumento en la temperatura mínima, mientras que los eventos de bajas temperaturas han disminuido. El promedio de temperatura anual ha aumentado en aproximadamente 1°C desde 1900 y el aumento de días y noches cálidas se incrementaron en un 2,5% y un 1,7% por década, mientras que las noches y días fríos han disminuido -2,2% y -2,4% respectivamente. Los extremos de temperatura muestran aumento de entre 0,2 °C y 0,3 °C por década.

Los índices de precipitación, a pesar de la gran variabilidad espacial, indican que, aunque no hay aumentos importantes en la cantidad de precipitación si se ha observado una intensificación de las mismas, esto quiere decir que los patrones de precipitación han cambiado de forma que ahora llueve más intensamente en un periodo de tiempo más corto (Aguilar, E., et al. 2005).

1.1.5 Eventos extremos

El clima de la región centroamericana es moldeado por una serie de manifestaciones atmosféricas principales como son; las ondas provenientes del este, los frentes fríos y la intrusión de masas de aire frío, las oscilaciones de la zona de convergencia intertropical, el tránsito de ciclones tropicales en el Océano atlántico y el mar Caribe y los sistemas ciclónicos que viajan paralelos al istmo y México a lo largo del Océano Pacífico. Cuando estas condiciones se acoplan con otras condiciones atmosféricas de otra escala de tiempo y espacio surgen los eventos climáticos extremos que tiene lugar en la región como las fuertes lluvias, inundaciones, deslizamientos de tierra y las sequías. Por lo que los eventos climáticos extremos en Centroamérica no son una

excepción, sino que son bastantes recurrentes, lo suficiente para convertirse en una situación normal para el istmo por lo que su impacto tiene importantes consecuencias sobre las condiciones sociales, económicas y ambientales de los habitantes de la región. Sin embargo, es importante mencionar la preocupación científica sobre la relación entre el aumento de los fenómenos naturales y los daños asociados en función de la sobrestimación de los riesgos independientemente de si se debe al cambio climático o no (SICA, et-al. 2006).

Centroamérica está localizada en una región de gran actividad ciclónica (mapa 1), donde anualmente los ciclones ejercen acción indirecta o directa sobre las costas del Caribe y Pacífico. El IPCC (2007A) señala que sobre la base de una gama de modelos, es probable que los ciclones tropicales futuros sean más intensos, con vientos de mayores velocidades máximas y precipitaciones más intensas asociadas con los aumentos que están ocurriendo en las temperaturas de la superficie de los mares tropicales.

El aumento aparente en la proporción de las tormentas muy intensas desde 1970, en algunas regiones, es mucho mayor que el simulado en los modelos actuales para este período por lo que es probable que aumente en el futuro la frecuencia de aparición de fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, así como la frecuencia e intensidad de los huracanes en la Cuenca del Caribe (Emanuel K. 1987: IPCC.2007B), lo que sin duda repercutiría sobre la biodiversidad y los modos de vida de los pobladores de la región.

La intensidad de los ciclones en los últimos 35 años asociado a un aumento de la temperatura superficial del mar y la temperatura de la troposfera han aumentado su intensidad en las categorías 4 y 5 en el Pacífico Norte, Índico y Pacífico sudoccidental (Webster P. et-al. 2005) pero no así el número de huracanes por lo que Trenberth K. (2005) plantea que la clave científica en este tema no está en si hay una tendencia al aumento en el número de huracanes o su trayectoria sino más bien como los huracanes están cambiando.

Mapa 1

Historia y trayectoria de los Ciclones tropicales en Mesoamérica entre 1851 y el año 2009. (Elaboración propia a partir de datos de NOAA.2010)



1.2. Escenarios climáticos

A finales de siglo de acuerdo con diferentes modelos América Latina se proyecta que tenga un calentamiento del orden de 1°C a 4°C para los escenarios de emisiones B2 y de 2 °C a 6°C para el escenario A2 (*confianza media*) (Conde y Saldaña. 2007). Esto implica para el horizonte del 2020 que entre 7 y 77 millones de habitantes de la región podrían sufrir estrés hídrico y que la vegetación semiárida puede ser remplazada por vegetación de tierras áridas (IPCCWGII, 2007).

El primer aspecto que sobresale sobre los escenarios climáticos futuros para la región de Centroamérica está relacionado a la conclusión de que la región es el punto caliente más prominente de los trópicos del mundo, esto lo señala Giorgi (2006) que desarrolla un índice de cambio climático regional con base en el cambio regional de la precipitación promedio, el cambio en la temperatura superficial y la variabilidad interanual de ambas con el objetivo de buscar las áreas más sensibles al cambio climático en la tierra. Este índice se calcula para 26 regiones de la tierra, utilizando las proyecciones de cambio climático de 20 modelos de circulación global del clima y tres escenarios de emisiones del IPPC (A1B, B1 y A2).

Además, las simulaciones de escenarios climáticos globales establecen un pronunciado decrecimiento de la precipitación y un aumento en la variabilidad de las mismas

conduciendo a una región en el futuro más seca (Rauscher et al., 2008; Giorgi, 2006; Neelin et al., 2006; Aguilar et al., 2005). Esto sugiere que uno de los ecosistemas de la región más sensibles sean los bosques ubicados en las tierras altas debido a la alta biodiversidad y a su papel crucial en el mantenimiento del ciclo hidrológico de muchas regiones. Esta notable diversidad biológica es debida en parte a los gradientes verticales de temperatura y precipitación los que los hace ecosistemas particularmente vulnerables al cambio climático (Karmalkar A., et-al.2008).

Desde hace varios años atrás varias instituciones de la región han realizado esfuerzos para desarrollar escenarios a escala regional (SICA, et-al. 2006). En uno de estos esfuerzos utilizando escenarios para un horizonte temporal de corto plazo (2010, 2020, 2030) mediano plazo (2040, 2050) y largo plazo (2100) se reporta para la temperatura que dependiendo del escenario de emisión de gases de efecto invernadero utilizado en la región, las proyecciones de aumento de temperatura oscilan entre 0,3 °C para el 2010 y 3,4 °C para el 2100. El cambio de temperatura tiene el mayor aumento durante el verano boreal (junio- Agosto) y la más baja durante el invierno (diciembre-febrero), con un mínimo durante el mes de abril. En términos geográficos la magnitud del cambio en la temperatura es ligeramente más grande en el Sector sur de Centroamérica (Panamá y el sur de Costa Rica) que en el Norte (Desde Belice hasta el norte de Costa Rica), en particular después del 2050.

En el mismo reporte (SICA, et-al. 2006) en cuanto a la precipitación se señala que la región norte (Belice hasta el norte de Costa Rica) presenta una tendencia de reducción en las precipitaciones durante la mayor parte del año hasta el 2050, para el año 2100 esta tendencia se ve opuesta ya que para los escenarios de emisión A2 y B2 durante los meses de octubre y diciembre las precipitaciones se incrementarían pero este aumento en promedio será inferior al 10%. Los otros meses presentarán menor precipitación que en la actualidad y los meses más críticos presentarán reducciones de entre un 5,5% en el 2020 hasta un 20% en el año 2100.

Para la región sur de Centroamérica (Panamá y el sur de Costa Rica) la tendencia es que en 7 de los 12 meses del año habría más precipitaciones que en la actualidad, pero los que tendrían menos precipitación serían los meses entre mayo y septiembre, esto puede ser crítico por lo menos para algunas de las actividades productivas como la agricultura en particular debido a que estos son los meses donde las precipitaciones son más abundantes a lo largo de la cuenca del Pacífico, lo que significa una transformación importante de la temporada de lluvias típicas de esta zona. Los efectos serían más graves durante los períodos de El Niño, ya que contribuiría a agravar la reducción del déficit y potenciales de lluvia que normalmente se produce a lo largo de la cuenca del Pacífico de Centroamérica durante El Niño. Entre octubre y abril las precipitaciones podrían tener incrementos mensuales hasta de un 10% en 2020 y un 40% en el 2100. Lo que implica para cada cuenca que:

- A lo largo de la vertiente del Pacífico de Costa Rica y Panamá, las condiciones serían más lluviosas durante todos los meses del año. Y
- A lo largo de la cuenca del Pacífico habría una disminución de la estacionalidad, entre la estación seca y lluviosa.

- Más lluvias estarán presentes durante todo el año, incluso durante la estación seca, por lo tanto una modificación del clima se llevará a cabo en ambos países. Para el caso de Costa Rica, desde el paralelo 10, el régimen de precipitaciones será más parecido al patrón de lluvias real para el Caribe, donde no existe una estación seca bien definida (SICA, et-al. 2006).

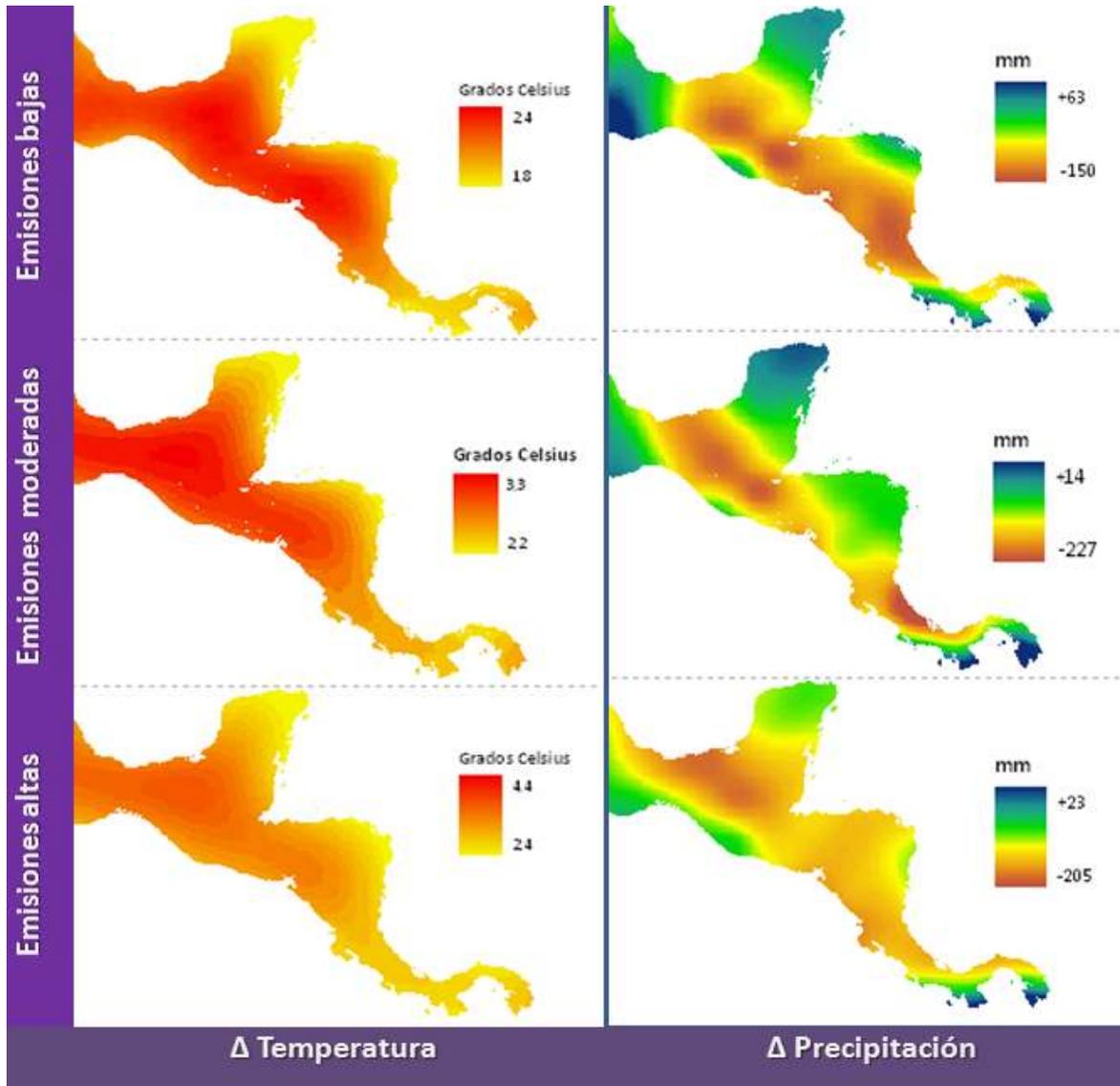
En el año 2008 el Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC) y USAID publicaron unos escenarios climáticos como parte de una iniciativa para evaluar el impacto del cambio climático sobre la biodiversidad de América Central, México y República Dominicana (Anderson et al., 2008). Como paso fundamental para desarrollar escenarios climáticos para la región desarrollaron escenarios regionales con una resolución de 12 km, a partir de datos con una resolución de 400 km. El período de referencia fue 1961-1990 y se corrieron los escenarios para los siguientes horizontes temporales; 2020 (2011-2040), 2050 (2041-2060) y 2080(2061-2090) y los forzamientos radiactivos B2 y A2 utilizando el modelo de circulación global HADCM3.

Bajo los anteriores escenarios las anomalías de temperatura para el escenario B2 en el año 2080 fluctúan entre 1,3 °C y 4,4 °C, mientras que en el escenario A2 este rango muestra valores de 1,7 °C a 6,0 °C para la región. En cuanto a las anomalías en la precipitación se muestran valores para el año 2020 en el escenario B2 en un rango que varía del -20,0% a + 33,06% y para el escenario A2 esta variación es del orden de - 26,70% a + 29,89% para el mismo año.

Más recientemente un grupo de investigadores (Imbach et-al, 2010) utilizando escenarios de cambio climático del Programa de Investigación Mundial sobre el Clima (WCRP-CMIP3) con los cuáles se preparó el informe AR4 del IPCC y a una escala de 2,5 minutos de resolución (~5 km) y tres grupos de forzamiento radiactivo del IPCC-SRES, B1, A1B y A2 con 48, 52 y 36 modelos respectivamente, encontraron en todos los escenarios que la temperatura aumentará en Mesoamérica en un rango de 2,5 °C (promedio de los escenarios B1) a más de 3,5 ° C en la parte noroeste de la región (escenarios A2). En cambio la precipitación aumenta o disminuye, dependiendo de la ubicación y el escenario, pero las precipitaciones promedio de disminución se presentan en la mayoría de los escenarios hasta 504 mm / año para el valor más alto y donde se incrementa presenta valores promedio de hasta 187 mm / año. Las anomalías promedio negativas indican que la precipitación disminuirá en todas partes, en el orden de 4% a más del 20% en las zonas secas. La tendencia decreciente de la precipitación es más cierta en el norte de Mesoamérica que en Costa Rica y Panamá.

Gráfico 7

Rangos de anomalías para la temperatura y la precipitación utilizando un modelo acoplado con 23 modelos de circulación global para los escenarios B2 (Emisiones bajas o estabilización a 550 ppm), A1B (Emisiones moderadas estabilización a 720 ppm), A2 (Emisiones altas o sin estabilización).



Fuente: Elaboración propia a partir de los escenarios del Programa de Investigación Mundial sobre el clima (WCRP), del grupo CMIP3 (Coupled Model Intercomparison Project phase 3) utilizados en el reporte AR4 del IPCC. El “downscaling” fue realizado por la Oficina de California de The Nature Conservancy a una resolución de 5 km

Los modelos del IPCC coinciden con simulaciones locales al indicar un aumento generalizado de la temperatura en Centroamérica y una variabilidad positiva y negativa en la precipitación. No obstante, se presenta una variación también entre la época seca y lluviosa. El cuadro 3 presenta los rangos de cambio en temperatura y precipitación proyectadas para 2020, 2040 y 2080, provenientes de las estimaciones de varios modelos de circulación global y cuatro de los principales escenarios de emisiones para las dos épocas del año (Magrin et al., 2007).

Cuadro 3

Cambios en temperatura (°C) y precipitación (%) para la región centroamericana en los horizontes de tiempo 2020, 2050 y 2080 provenientes de las estimaciones de siete modelos de circulación global y los cuatros escenarios SRES más importantes.

Cambio	Estación	2020	2050	2080
Temperatura °C	Seca	+0.4 a +1.1	+1.0 a +3.0	+1.0 a +5.0
	Húmeda	+0.5 a +1.7	+1.0 a +4.0	+1.3 a +6.6
Precipitación %	Seca	-7 a +7	-12 a +5	-20 a +8
	Húmeda	-10 a +4	-15 a +3	-30 a +5

Fuente: Magrin et al., 2007.

Un aspecto a resaltar de suma importancia es el publicado por Rausher et-al (2008) el cuál en su análisis indica que el calentamiento global podría provocar un cambio en la estacionalidad de la precipitación en Centroamérica lo que podría tener implicaciones importantes para la gestión de los recursos hídricos en el futuro.

Este mismo estudio encontró que la precipitación se reduce en la región hasta en un 25% con los mayores cambios ocurriendo en los meses de junio y julio, prediciendo mayores reducciones en la precipitación en el sur de Guatemala, El Salvador, Honduras y el oeste de Nicaragua.

Recuadro 1 Proyecciones futuras del clima en Costa Rica

Uno de los esfuerzos más importantes de la región en el estudio sobre las proyecciones futuras del clima a mejor resolución lo ha realizado el Instituto Meteorológico de Costa Rica, para todas las regiones del país.

El escenario futuro fue determinado usando un modelo climático regional (MCR): PRECIS, el cual es un modelo dinámico adaptado para la creación de escenarios climáticos, con una alta resolución espacial y temporal. Se utilizaron tres bases de datos climáticos: (1) los del proyecto CRN073- IAI realizada por el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la Universidad Nacional Autónoma de México; (2) la salida de control del modelo PRECIS, forzado con las condiciones de frontera del modelo global HadAM3P; (3) la climatología de 81 estaciones

meteorológicas del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) distribuidas en todo el país con parámetros mensuales y anuales de la temperatura máxima.

Los resultados fueron calculados para dos periodos, uno del clima actual (1961-1990) y otro del clima futuro (2071-2100), sin embargo, para este estudio así como otros de impacto y adaptación fue necesario estimar un clima futuro de corto plazo (2011-2040) y otro a mediano plazo (2041-2070). El país fue dividido en seis regiones (Pacífico Norte, Pacífico Central, Pacífico Sur, Región Central, Zona Norte y Región Caribe).

Para la región Norte se reporta una disminución en la precipitación anual con niveles entre el 13% y el 24%, siendo la zona del Golfo de Nicoya la más afectada y las menos afectadas son las zonas montañosas de la Cordillera de Tilarán y el sur de la Península de Nicoya, donde las reducciones son del orden del 2% al 18%. La Cordillera Volcánica, la Península de Santa Elena y la parte oeste de la Península, presentan valores de reducción del 20% al 29%. En cuanto a la temperatura el comportamiento para toda la zona es de aumento tanto en la máxima como en la mínima. La máxima muestra un rango de aumento desde 3°C hasta 8°C, y la mínima entre 2°C y 3°C.

En la región de Pacífico Central igualmente se reporte una disminución en las lluvias en zonas como Jacó y Herradura y aumentos en hacia el sur después de la ciudad de Quepos y en las montañas aledañas. Las temperaturas aumentan en toda la región hasta 6°C en la máxima y 4°C en la mínima.

Hacia el Pacífico Sur se muestra una tendencia de aumento de las precipitaciones anuales. Las temperaturas, se incrementan en toda la Región, con aumentos en las temperaturas máximas de 2°C a los 4°C, mientras que la mínima aumenta entre 1°C y 3°C.

En la región Central se reporta una probable disminución progresiva de la precipitación anual con variación en los valores de disminución de entre el 16% y el 23%. La temperatura puede subir entre 4°C y 5°C, mientras que la temperatura mínima puede aumentar entre 2°C y 4°C aproximadamente.

En la Región del Caribe se obtiene que la precipitación anual en el sector costero aumente mientras que en la zona montañosa se mantiene prácticamente normal y en algunas secciones cercanas a la parte central oriental el comportamiento es de disminución. La temperatura máxima y mínima muestra un comportamiento de aumento progresivo presentando la máxima incrementos de entre 2°C y 4°C, y la mínima entre 2°C y más de 3°C.

En la región Norte la precipitación anual disminuye con variaciones en la disminución entre 7% y 56%. Las temperaturas máximas pueden aumentar entre 4°C y 5°C, mientras que las mínimas aumentarían entre 2°C y 3°C aproximadamente.

Fuente: IMN-CRRH, 2008; IMN- MINAET, 2009.

1.3 Efectos del cambio climático en Mesoamérica

Una de las limitaciones actuales de la región es la poca generación de evaluaciones del probable impacto del cambio climático sobre los ecosistemas a nivel regional, nacional

o local estos atribuido según SICA, et-al. (2006) a los limitados recursos humanos en ciencias de la tierra y particularmente en áreas relacionadas a los océanos y el clima. No obstante, se comienzan a ver importantes esfuerzos en la generación de nuevo conocimiento en ciencia de cambio climático por algunos grupos de centro académicos y organizaciones no gubernamentales como la Sección de Oceanografía de la Universidad Nacional, el Centro Científico Tropical (CCT), el Centro de Investigación Geofísica (CIGEFI) de la Universidad de Costa Rica, el Grupo de Cambio Global del CATIE, el Instituto Meteorológico en Costa Rica, el Centro de Cambio Climático de la Comunidad del Caribe en Belice, el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) de la Universidad Rafael Landívar en Guatemala y el Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina (CATHALAC) en Panamá. Sin embargo, es importante señalar que se nota una concentración importante de la generación de conocimiento en instituciones ubicadas en Costa Rica.

1.3.1 Ecosistemas

Uno de los trabajos más recientes a nivel de toda la región mesoamericana con énfasis en el cambio en la escorrentía superficial y cambio en los tipos de vegetación por acción del cambio climático fue realizado por Imbach P., et-al (2010) empleando tres grupos de forzamiento radiactivo, B1, A1B y A2 con 48, 52 y 36 escenarios respectivos al período futuro 2070-2100 y una resolución de aproximadamente 5 km, obteniendo que dada una señal de sequía generalizada para toda la región en todos los escenarios climáticos (precipitaciones más bajas con temperaturas más altas), la escorrentía, la evapotranspiración y los cambios en el área foliar (cambio tipo de bosque) no tienen un patrón único de respuesta en cuanto a la incertidumbre.

Encontraron que el equilibrio en el índice de área foliar es probable que disminuya en un 77% a un 89% de la superficie en función del escenario y es probable que aumente en menos del 2% de la superficie, esto significa que los bosques que hoy conocemos estarán sometidos a algún tipo de cambio por ejemplo, ocurrirían transiciones entre los bosques tropicales lluviosos y los bosques estacionales, lo que indica un aumento en la densidad de gramíneas y una reducción en la densidad de árboles. Algunos escenarios muestran que las formas dominantes leñosas o árboles de hoy podrían cambiar de árboles a arbustos o gramíneas, siendo esta tendencia más pronunciada en los escenarios de emisiones de altas y con una probabilidad que ocurra en menos del 2% de la superficie de la región. En la mayoría de la región seguiría predominando las formas de vida de árboles (Imbach P, et-al 2010).

En otro trabajo Anderson, et-al (2008) evaluaron el impacto del cambio climático sobre la biodiversidad de Centroamérica, República Dominicana y México. Aunque el enfoque principal del trabajo estuvo basado en un índice de riqueza de tres grupos taxonómicos (anfibios, anfibios endémicos, aves y mamíferos), también hicieron algunas observaciones sobre impacto en los principales ecosistemas de la región.

El análisis utilizó como línea base del clima el período de 1961-1990, y los escenarios futuros; 2011-2040 (2020), 2041-2060 (2050), 2061-2090 (2080), de un único modelo de circulación global el HADCM3 y el forzamiento A2, para ello calcularon un índice de severidad climática. Los autores hacen el señalamiento de que el análisis no estuvo diseñado para localizar lugares específicos con alta vulnerabilidad al cambio climático sino dar una idea de los impactos potenciales en los diferentes ecosistemas y a diferentes ubicaciones en cuanto a la altitud (Anderson, et-al 2008).

Los resultados obtenidos muestran que en la década de los años 2020 y bajo el escenario A2 los ecosistemas no experimentan condiciones de estar fuera de una zona de confort climático. Sin embargo las décadas de 2050 y 2080 sí muestran cambios importantes. Uno de los resultados más significativos se refiere a que casi una cuarta parte de los bosques latifoliados se ubican en zonas de impactos severos del cambio climático, lo mismo sucede con las sabanas y manglares que parecen ubicarse en zonas sensibles al cambio climático (Anderson, et-al 2008).

En términos de altura encontraron que hay una tendencia a la disminución de la severidad conforme se asciende probablemente porque los ecosistemas de mayor altitud están más adaptados a mayores rangos de temperatura lo que podría hacerlos más “resilientes” al cambio climático. Por el contrario al tener en cuenta otros factores como la posible llegada de nuevas especies de pisos inferiores se ponen en riesgo estos ecosistemas por el probable cambio en la abundancia. Los bosques latifoliados y la agricultura constituyen el área mayoritaria de cambios climáticos más severos, mientras que los bosques mixtos y las zonas urbanas se encuentran en los límites probables de cambio. Estas clases de probable mayor impacto se encuentran en algunas partes de Costa Rica, Panamá, Nicaragua y el noroeste de México (Anderson, et-al 2008).

Uno de los ecosistemas forestales de los cuales más se ha publicado en relación al cambio climático en la región corresponde a los bosques nublados. Estos se caracterizan por una inmersión persistente en las nubes lo cual a la vez es una importante fuente de humedad durante la estación seca. Los cambios futuros en la temperatura y la precipitación podrían alterar la cobertura de nubes y con ello afectar gravemente el nivel de vegetación presente en estos ecosistemas (Lawton et-al. 2001; Karmalkar et-al 2008).

Un estudio basado en modelos climáticos regionales que se centra en los cambios en las distribuciones de la temperatura y precipitación en Costa Rica muestra, en general, un aumento de la temperatura y una disminución de las precipitaciones en el escenario A2, pero lo sobresaliente es que en las elevaciones altas, el calentamiento se amplifica y la distribución de la temperatura futura queda fuera del rango de la distribución actual. Comparando los cambios en temperatura entre el lado Caribe y Pacífico se encontró que en este último los cambios en temperatura son mayores. Los resultados del modelo también muestran cambios significativos en las cantidades de precipitación y la variabilidad y un incremento en la altura a la cual se forman las nubes en el lado del Pacífico que puede tener graves consecuencias para los ecosistemas de montaña en este lugar y alrededores Costa Rica, sugiriendo a la vez que este puede ser el patrón

de comportamiento en las elevaciones altas en Centroamérica en general (Karmalkar et-al 2008).

A lo anterior hay que sumarle lo encontrado por Lawton et-al (2001) sobre la hipótesis de elevación de las nubes ya que este plantea que al deforestar las tierras bajas se aumenta los procesos de convección más allá que los cambios que pueden producir la temperatura superficial del mar y esto sugiere que la deforestación en las tierras bajas tropicales forzaría a los bosques nubosos a irse para arriba, y por lo tanto se reduciría el área cada vez más fragmentada provocando la desaparición de muchas montañas en el futuro (Lawton et-al, 2001). Por lo que aparte de los efectos del cambio climático la sobrevivencia de estos ecosistemas depende a la vez del uso del suelo en las tierras bajas

Los efectos descritos en los párrafos anteriores vienen siendo estudiados desde finales de la década de los 90s y sus consecuencias sobre la biodiversidad. Pounds A., et-al (1999) encontró que el aumento de la temperatura del aire seguido de un calentamiento de los océanos en 1976, estaba relacionado con cambios en las poblaciones de 50 especies de anuros (ranas y sapos), incluyendo la desaparición del sapo dorado en 1987 (*Bufo periglenes*), en los bosques de las tierras altas de Monteverde en Costa Rica. Estos cambios son asociados con los patrones de frecuencia de niebla durante la estación seca y su correlación negativa con la temperatura superficial del mar en la zona ecuatorial del Pacífico, concluyendo que los patrones biológicos y climáticos sugieren que el calentamiento atmosférico ha elevado la altura media a la cual se forma las nubes. En 2004 Pounds J., and Puschendorf R. vuelven a publicar bajo el mismo enfoque solo que advirtiendo que la mayoría de los 70 miembros del género *Atelopus* endémicas de Centroamérica y Suramérica han desaparecido o disminuido notablemente según una comunicación personal de E. La Marca (2004).

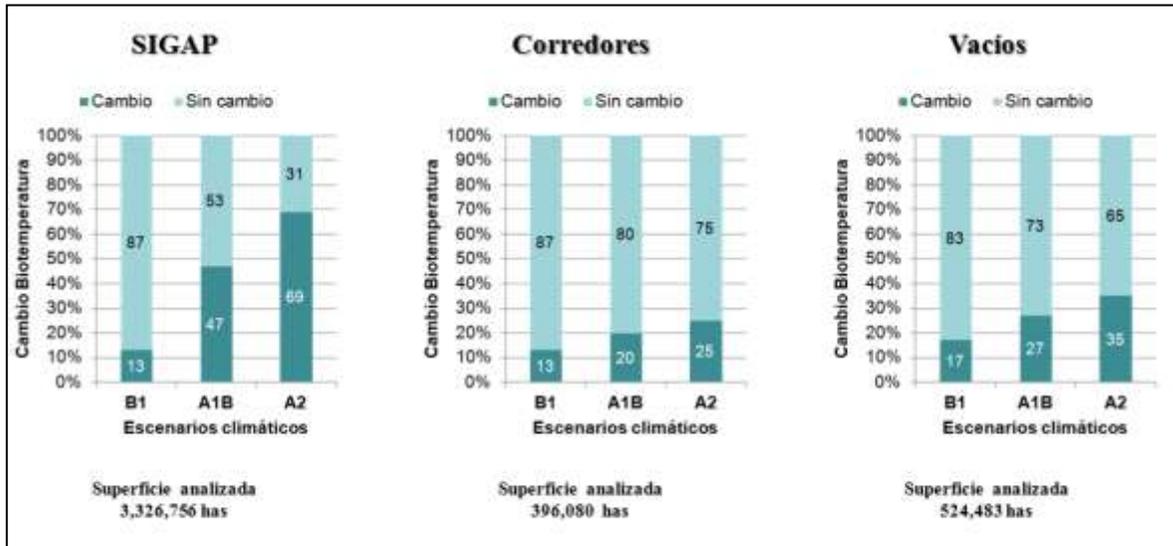
Los bosques tropicales lluviosos también han sido objeto de algunas observaciones, así Clark et-al. (2003) observo cambios en el crecimiento diamétrico de seis especies de árboles del dosel en la Selva, Costa Rica entre el año 1984 y el año 2000, y encontró que las tasas anuales de crecimiento decrecieron constantemente en todas las especies. Las tasas de crecimiento fueron correlacionadas negativamente con la temperatura mínima diaria y por lo tanto la disminución se atribuye al hecho de que las temperaturas nocturnas se incrementaron y esto se asocia al incremento relativo de los costos de la respiración en relación con las ganancias de la fotosíntesis. Así mismo, Feeley K., et al. (2007) reviso las tasas de crecimiento durante dos décadas para todas las especies presentes en una parcela de 50 hectáreas en la Isla Barro de Colorado en Panamá y encontró que el crecimiento había disminuido significativamente independientemente de su tamaño inicial o nivel de organización (especie, comunidad o sitio). Las tasas de disminución del crecimiento fueron generalizadas y presentaron valores que oscilaban entre un 24% y 71%. Los cambios en el crecimiento se asociaron significativamente con los cambios climáticos regionales; el crecimiento se correlacionó negativamente con la media anual de temperaturas mínimas diarias y se correlacionó positivamente con la precipitación anual y el número de día sin lluvia (una medida de la insolación relativa).

Algunos autores han realizado estimaciones de cambio de las zonas de vida de Holdridge como una aproximación para evaluar el cambio de los ecosistemas ante escenarios de cambio climáticos en la región ya que se considera que este sistema tiene la enorme ventaja de ser un descriptor de las condiciones requeridas para el desarrollo o el mantenimiento de los grandes ecosistemas naturales. Así, Mendoza et-al (2001) evaluaron el impacto del cambio climático en los ecosistemas naturales de Nicaragua por medio de un análisis de sensibilidad de las Zonas de Vida de Holdridge a diferentes escenarios de emisiones del IPCC IS92a, IS92d e IS92c en un horizonte de tiempo al 2100. Este estudio encontró que las superficies de las zonas secas y muy secas se incrementan en el sector del pacífico y las superficies húmedas se incrementan en el Caribe (excepto en el escenario más pesimista donde el porcentaje de áreas húmedas resulta ser menor que el actual), debido a que las zonas muy húmedas disminuyen en gran parte de sus superficies con respecto a la situación actual. Se destaca que en la parte central del país para el escenario pesimista se presenta un incremento de las superficies muy secas. Todo lo anterior indica que habría una tendencia muy marcada al incremento de zonas muy secas en Nicaragua y que los ecosistemas tendrán que adaptarse a condiciones climáticas muy distintas a las actuales. Por lo tanto, es probable que la composición específica de los bosques de Nicaragua sean afectados en forma muy sustancial en el futuro.

Otra evaluación del probable cambio de las zonas de vida fue concluido recientemente en Guatemala (USAID. 2010). Esta evaluación utiliza tres grupos de forzamiento radiactivo (IPCC-SRES), B1, A1B y A2 con 48, 52 y 36 escenarios respectivamente para el período 2070-2100, para un total de 136 simulaciones de clima futuro y utilizando 23 modelos de circulación global. El análisis evaluó el cambio futuro de las zonas de vida en el sistema nacional de áreas protegidas, la propuesta de corredores y los vacíos de conservación. El principal cambio observado ocurrió en la variación de los rangos de biotemperatura o piso altitudinal encontrándose que el área que sufriría un cambio “probable” variaría entre un 13 a un 69% de la superficie total actual del sistema dependiendo del escenario de emisiones. En los corredores propuestos la superficie donde probablemente ocurrirán cambios varían de 13 al 25% dependiendo del escenario de emisión y en la propuesta de vacíos de conservación la variación va del 17 al 35% de la superficie total (Gráfico 8). Esto sugiere cambios importantes en el gradiente de temperatura que encontramos actualmente lo que significa una modificación o migración de sistemas del nivel del mar hacia las montañas con una probable consecuencia de desaparición de sistemas de montaña en el futuro.

Gráfico 8

Superficie en % con un cambio “probable” en la variable de biotemperatura o piso altitudinal para tres escenarios de emisiones en el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas Corredores propuestos y Vacíos de conservación (Período futuro 2070-2100 con base al período 1960-1990).



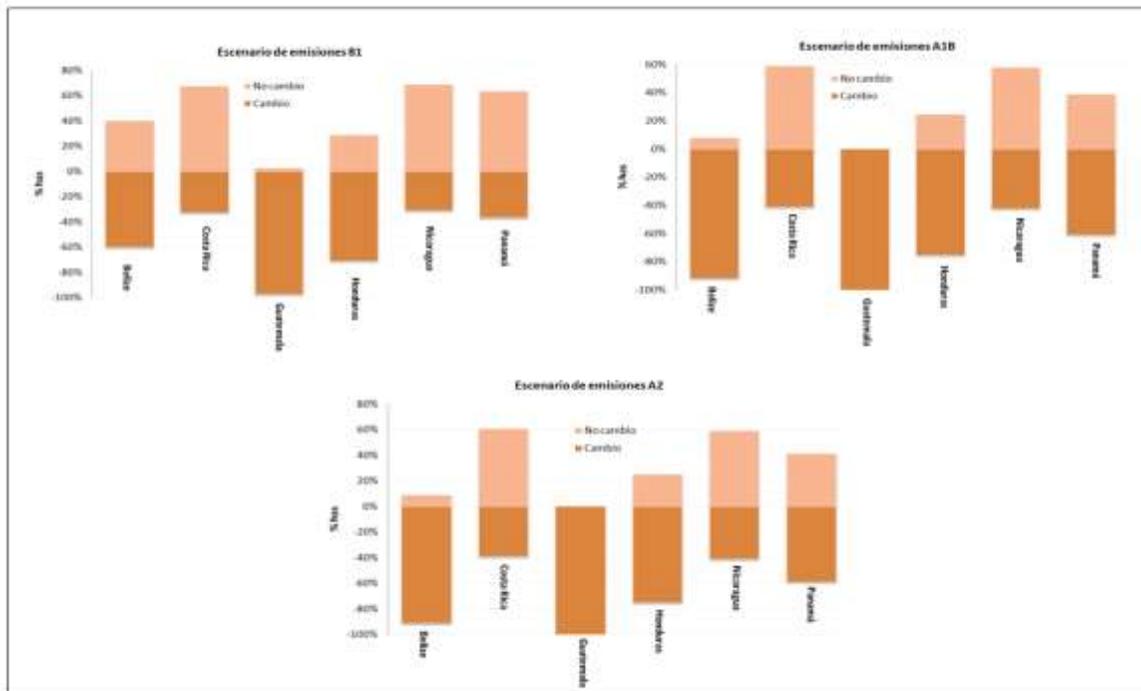
Fuente: USAID, 2010.

Imbach P., et-al. (2010_A), estimaron los impactos del cambio climático utilizando un modelo biogeográfico (MAPSS) sobre los ecosistemas en los sistemas nacionales de áreas protegidas de Centroamérica. El modelo simula la interacción entre el suelo, la vegetación y la atmósfera para determinar la vegetación potencial de un sitio. El modelo fue calibrado y validado con datos del índice de área foliar (IAF) derivados de sensores remotos y promedios de caudales de estaciones hidrométricas distribuidas en la región. El análisis de los escenarios de cambio climático, impacto en los ecosistemas e incertidumbre se basó en 136 climatologías (2070-2099) simuladas por 23 Modelos Generales de Circulación bajo tres escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero.

Este estudio determinó que los ecosistemas presentes en los sistemas nacionales de áreas protegidas de Centroamérica recibirían un impacto del cambio climático siendo los sistemas de Belice, Guatemala y Honduras los que sufrirían mayor impacto y los sistemas con menos superficie impactada son Costa Rica, Nicaragua y Panamá en todos los escenarios (Gráfico 9).

Gráfico 9

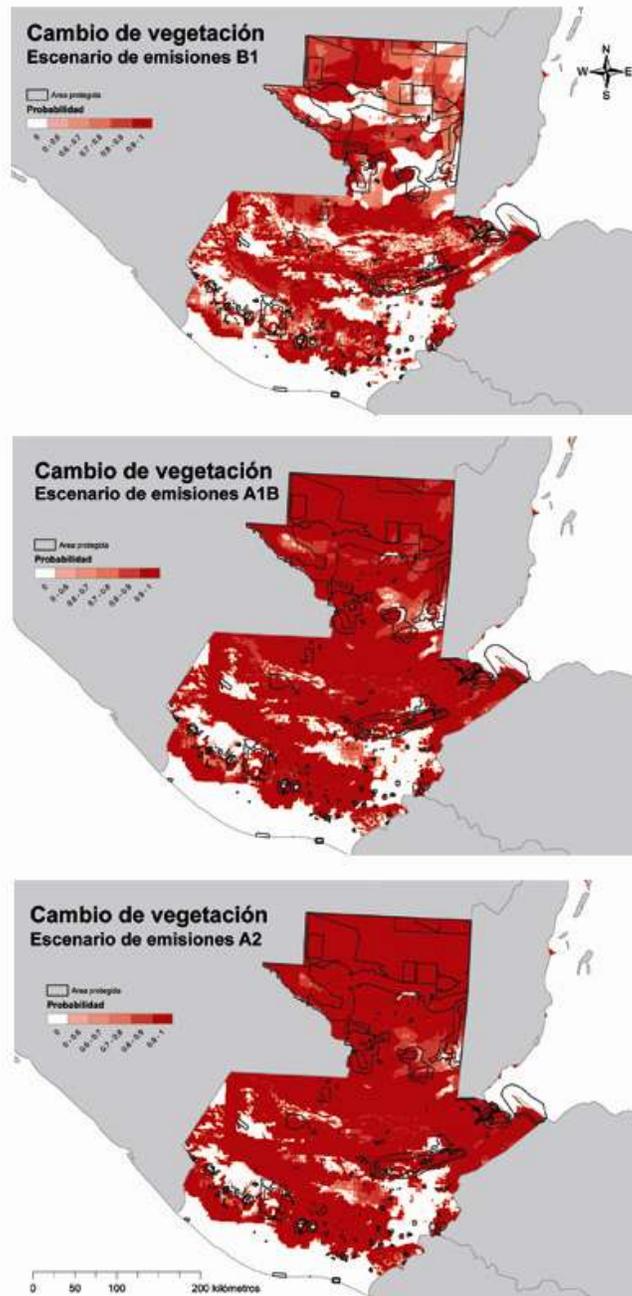
Impacto del cambio climático sobre la superficie de los Sistemas Nacionales de Áreas Protegidas en % bajo tres escenarios de emisiones y empleando un modelo biogeográfico. El color rosa indica lo que no cambia y el café la superficie que estaría siendo impactada.



Recuadro 2 Impacto del cambio climático sobre la vegetación de Guatemala

Los cambios en los ecosistemas forestales de Guatemala fueron simulados empleando el Modelo MAPPs (Imbach P., et-al, 2010). El área probable de cambio en la vegetación como consecuencia del impacto del cambio climático obtenido a través de la aplicación del modelo se muestra en la figura en color rojo para los tres escenarios de emisiones analizados. Estas áreas en rojo corresponden a un valor de probabilidad mayor al 66% lo que significa que en las áreas en blanco no es que no ocurrirán cambios sino que actualmente hay incertidumbre sobre el futuro basado en el análisis efectuado. (USAID .2010)

Las áreas de cambio “probable” varían de un valor de 65,7% a 81,7% de la superficie total del país, lo que implica que la mayoría de la vegetación del país estaría en el futuro sometido a probables cambios importantes en lo que conocemos al día de hoy.



1.3.2 Especies

Uno de los grupos más estudiados en la región en relación al impacto del cambio climático han sido los anfibios. Whitfield S. et-al, (2007), reporta la declinación en las poblaciones de anfibios y reptiles en los bosques de La Selva en Costa Rica en los

últimos 35 años por pérdida de micro hábitat, esto debido probablemente a cambios asociados con variaciones en la temperatura promedio mínima diaria la cual ha aumentado dentro del bosque y el número de días secos ha decrecido de acuerdo también a los registros de estos parámetros para el mismo período de tiempo. Así mismo, estudios realizados en Monteverde por Pounds et-al (1999) a lo largo de varios años encontraron cambios en la demografía de anfibios, reptiles y aves asociados a cambios en el clima local. Además Pounds A. (2006) argumenta que la disminución en las poblaciones de anfibios en tierras altas está asociada a un incremento en los ataques del hongo *Batrachochytrium dendrobatidis*, favorecido en apariencia por un aumento en la temperatura mínima provocada por calentamiento a nivel local.

Originalmente durante la década de 1990 existía una controversia en cuanto a si las caídas en las poblaciones de anfibios se debía a los trastornos directos que ocasionaba el ser humano como la destrucción del hábitat, mientras otra se centraba en la pérdida de anfibios y su relación con el calentamiento global. Hoy día quedan pocas dudas de que las poblaciones de anfibios en la región están disminuyendo, que el calentamiento global es una realidad y que entre los dos fenómenos mencionados hay un vínculo estrecho (Lips et-al, 2003; Corn, P. S., 2005; Pounds J... 2001; Pounds J... 2006; Pounds J., et-al, 2006; Anchukaitis K., and Evans M.. 2010).

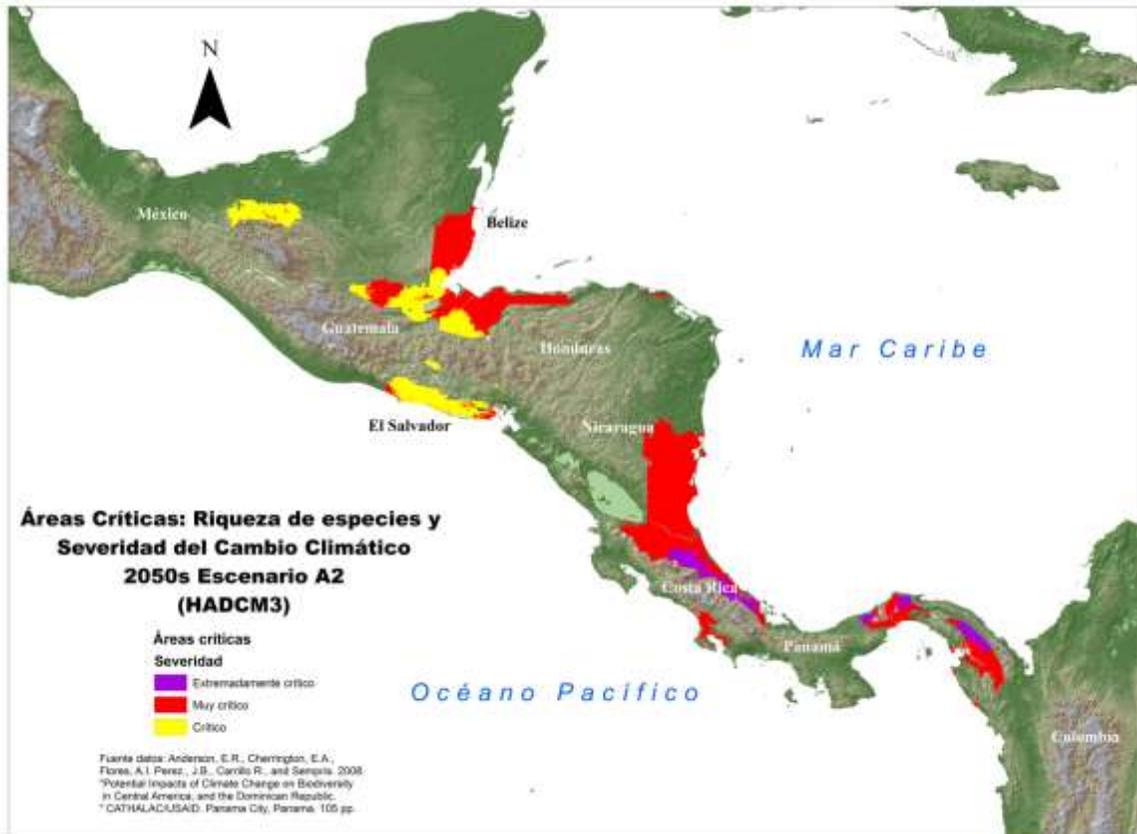
Deliso (2008) señala que los cambios de clima reportados en Monteverde, Cordillera de Tilarán, Costa Rica, podrían tener consecuencias sobre las distribuciones espaciales y temporales de las especies de colibríes y plantas, así como un cambio en la abundancia relativa de especies y un decline de los recursos del néctar con la consecuencia de una reducción de la diversidad de colibríes.

En el 2008 Anderson et-al, analizo el impacto del cambio climático sobre la biodiversidad de Centroamérica, República Dominicana y México. El enfoque del trabajo estuvo basado en la riqueza de especies de anfibios, anfibios endémicos, aves y mamíferos. El producto final del estudio fue la identificación de hábitat críticos: donde el cambio climático se proyecta como la más grande amenaza a la biodiversidad terrestre, obtenido combinando la distribución de riqueza de especies con el índice de severidad al cambio climático que fue calculado utilizando como línea base del clima el período de 1961-1990, y los escenarios futuros; 2011-2040 (2020), 2041-2060 (2050), 2061-2090 (2080), de un único modelo de circulación global el HADCM3 y el forzamiento A2.

El mapa 2 muestra el mapa del escenario A2 en la década del 2050 y representa las áreas más críticas de la región en relación al índice de severidad climática y la riqueza de especies. Las zonas más extremadamente críticas se encuentran en Costa Rica y Panamá, no obstante todos los países presenta zonas con áreas muy críticas y críticas (Anderson et-al, 2008).

Mapa 2

Áreas críticas donde el cambio climático se proyecta como la más grande amenaza a la biodiversidad terrestre en la región centroamericana.



Recuadro 3 Cambio en la distribución potencial de especies en Costa Rica en el futuro debido al cambio climático

En base a los escenarios producidos por el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, utilizando el período línea base 1961-1990 y escenarios al 2030 la precipitación presenta cambios en el 42 % del país, disminuirá en el 26% del territorio y aumentará un 15%, estimándose que en el 59% del país permanecerá igual. La temperatura mínima, permanecerá igual en el 56% del área del país, disminuirá en el 16% y aumentará en el 28% y la temperatura máxima permanecerá igual en el 34% de las áreas del país (INBIO, 2009).

Tomando los datos de estos escenarios de cambio climático para Costa Rica el INBIO (2009) analizó los cambios esperados en la distribución potencial de 16 especies en Costa Rica con base en tres variables climáticas: precipitación anual, temperatura mínima y temperatura máxima, obteniéndose que todas las especies sufrirían algún tipo de impacto en la pérdida o ganancia de hábitat, esto señala que los impactos del cambio climático sobre las especies surgirá de manera diferenciada en el futuro.

Especie	Área apta (ha)	Área apta en el futuro (ha)	Diferencia	%
<i>Amazilia boucardi</i> (colibrí, gorrión)	14.969	0	-14.969	100,00
<i>Ara ambiguus</i> (Lapa verde)	21.361	19.091	-2.270	-10,6
<i>Bufo aucoinae</i> (sapo)	11.173	3.081	-8.092	-72,4
<i>Caluromys derbianus</i> (zorro de balsa)	10.427	14.752	4.325	41,5
<i>Carpodectes antoniae</i> (Cotinga piquiamarilla)	12.489	3	-12.486	-100,0
<i>Cephalopterus glabricollis</i> (pájaro danta)	19.422	19.047	-375	-1,9
<i>Craugastor podiciferus</i> (Ranita, sapito)	15.534	12.840	-2.694	-17,3
<i>Cryptotis gracilis</i> (musaraña)	3.607	4.496	889	24,6
<i>Oophaga granuliferus</i> (Rana venenosa)	14.346	0	-14.346	-100,0
<i>Habia atrimaxilaris</i> (Tangara hormiguera)	4.812	10.060	5.248	109,1
<i>Isthmohyla picadoi</i> (Rana)	3.808	5.623	1.815	47,7
<i>Oedipina poelzi</i> (Salamandra)	7.443	8.492	1.049	14,1
<i>Phyllobates vittatus</i> (Rana venenosa)	14.346	0	-14.346	-100,0
<i>Saimiri oerstedii</i> (Mono ardilla, tití)	13.922	12.305	-1.617	-11,6
<i>Smilisca puma</i> (Rana)	23.877	19.019	-4.858	-20,4
<i>Touit costaricensis</i> (Periquito a.lirrojo)	7.289	8.802	1.513	20,8

1.3.3 Sectores más vulnerables social, ambiental y económicamente identificados

Salud Pública

La Organización Mundial de la Salud estima que la tendencia al calentamiento y los cambios en la precipitación debido al cambio climático antropogénico en los últimos 30 años ya ha ocasionado la muerte de más de 150.000 vidas al año. Muchas enfermedades humanas corrientes son vinculadas a la fluctuación del clima, no obstante, existe una incertidumbre en cuanto a la atribución de que la expansión o la reaparición de enfermedades se debe al cambio climático, esto debido a la carencia de datos de alta calidad y largo plazo, así como a la influencia de factores socioeconómicos y a los cambios en la inmunidad y la resistencia de medicamentos. Otro aspecto que interviene en la discusión es que las proyecciones de cambio climático provienen de modelos de gran escala que no consideran aspectos importantes de la ecología de la enfermedad como lo es la influencia en el nivel local de aspectos como la topografía (pendiente, efectos de sombra de lluvia, la precipitación orográfica), grandes cuerpos de agua, costas y otros accidentes geográficos. (Patz J., et-al. 2005)

Shetty P, (2009) menciona que la comunidad científica está de acuerdo en que eventualmente el cambio climático tendrá efectos sobre las enfermedades transmitidas por insectos pero las consecuencias de ello siguen siendo inciertas. Más bien el favorecimiento o no de la multiplicación de vectores y la propagación de las enfermedades, dependerá de factores ecológicos y sociales que van más allá del aumento en la precipitación y la temperatura.

Otros autores señalan que al cambio climático se le imputa un rango muy amplio de desastres medioambientales y de salud pública. La idea por ejemplo de que el cambio climático propicia la malaria y otras enfermedades transmitidas por mosquitos, y que este aumento será catastrófico en los años venideros provoca que este concepto sea convincente porque es intuitivo: la malaria es endémica en las zonas cálidas del planeta, por lo tanto si el mundo se calienta, la enfermedad aumentará. No es así para el científico. La epidemiología de la enfermedad es extremadamente compleja, y los factores dominantes son la ecología y el comportamiento tanto de los humanos como de los mosquitos. Más bien los cambios son impulsados por las fuerzas económicas, ecológicas y sociales: que incluyen el crecimiento poblacional, el aumento en el desplazamiento de las personas, la deforestación (que crea condiciones ideales para los mosquitos de la malaria), la irrigación, el deterioro de la infraestructura de salud, la resistencia a los medicamentos, la guerra y los disturbios civiles. Por encima de todo esto, el detonante es la pobreza (Reiter P, 2009).

El cuadro siguiente muestra probables efectos del cambio climático sobre las enfermedades transmitidas por insectos registrados a partir de estudios de investigación según el IPCC (2007).

Cuadro 4
Efectos del cambio climático sobre las enfermedades transmitidas por insectos registrados en los estudios de investigación

Factor climático	Efectos potenciales sobre el vector	Efectos potenciales sobre el patógeno
Aumento de la temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la sobrevivencia de algunas especies de mosquitos • Cambio en la susceptibilidad a algunos patógenos • Aumento de la población en crecimiento • Aumento en la tasa de alimentación para combatir la deshidratación (por lo tanto, mayor contacto del vector con los humanos) • Distribución estacional y espacial extendida 	<ul style="list-style-type: none"> • Incubación más rápida en el vector • Ampliación de la temporada de transmisión • Distribución extendida
Disminución de las lluvias	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de la reproducción de los mosquitos en los contenedores debido a un mayor almacenamiento de agua • Mayor número de vectores que se reproducen en los lechos de los ríos secos • Reducción —o eliminación— de vectores como los caracoles acuáticos, mediante la sequía 	<ul style="list-style-type: none"> • Sin efectos
Incremento de las lluvias	<ul style="list-style-type: none"> • Más sitios de reproducción y aumento en el tamaño de la población de vectores • Aumento de la sobrevivencia del vector debido al incremento de la humedad • Más ecosistemas potenciales aguas abajo de las inundaciones para vectores como los caracoles acuáticos • Las lluvias fuertes pueden sincronizar con los vectores que buscan hospederos y transmisión de virus • Los sitios de reproducción son arrastrados por las fuertes lluvias • Destrucción del hábitat por las inundaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Poca evidencia de efectos directos
Aumento en el nivel del mar	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta abundancia de mosquitos que se crían en aguas salobres 	<ul style="list-style-type: none"> • Sin efectos

Fuente: IPPC, 2007.

Agricultura

Se ha realizado diversos estudios en relación al impacto del cambio climático sobre la productividad de los cultivos anuales utilizando modelos de simulación de cultivos y escenarios climáticos (Cuadro 4).

El cuadro 5 presenta resultados por país y cultivo. Como puede observarse hay importantes diferencias sobre las proyecciones pero aún así aparecen datos consistentes como la reducción en la producción de arroz a partir del 2010. No obstante a mayor estrés térmico y menor disponibilidad hídrica menores rendimientos (Magrin et al, 2007).

Cuadro 5
Impactos futuros en el sector agrícola

País	Escenario Climático	Impactos sobre rendimiento (%)		
Guatemala (MARN, 2001)	+1.5°C -5% precip.	+8 to -11	-16	Frijol: +3 to -28
	+2°C +6% precip.	+15 to -11	-20	
	+3.5°C -30% precip.	+13 to -34	-27	Frijol: +3 to -42
				Frijol: 0 to -66
Honduras (Díaz- Ambrona et al., 2004)	Hadley CM2 (1xCO2) 2070	-21		
	Hadley CM2 (2xCO2) 2070	0		
Costa Rica (MIRENEM, 2000)	+2°C -15% precip.		-31	Papa ↓
	Análisis de sensibilidad	Café Incremento (hasta 2°C) en temperatura beneficiaria los rendimientos		
Panamá (ANAM, 2000)	HadCM2-UKHI (IS92c-IS92f)	+9/-34/-21		
	2010/2050/2100 (1xCO2)			
Latinoamérica (Jones and Thornton, 2003)	HadCM2 (Pequeños productores)	-10		

Fuente: Adaptado de Magrin et al, 2007.

Para el cultivo del café se reporta en Costa Rica que en la zona central el rendimiento de este cultivo podría oscilar entre una baja del 12,9% (de reducirse un 20% las precipitaciones) y un incremento del 30% (si las temperaturas mínima y máxima aumentan hasta 2°C y las precipitaciones un 20%) (MINAE, 2000).

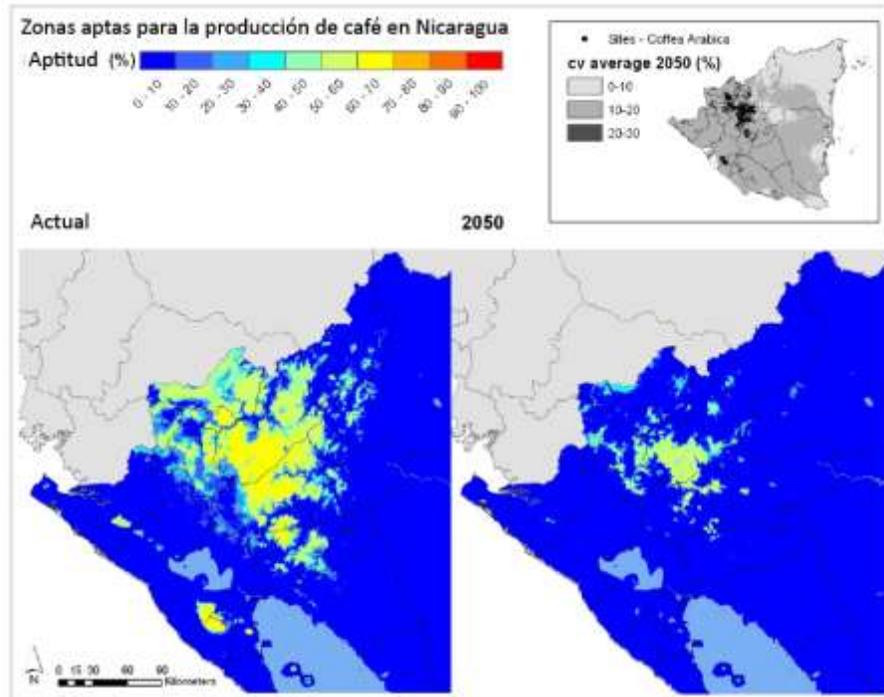
Lobell, D. et-al. (2008) identifica las 12 regiones del mundo con mayores problemas de seguridad alimentaria tomando en cuenta las similitudes en materia de dieta, sistemas productivos agrícolas y proporción de población desnutrida, a partir de las estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Tres de esas regiones se encuentran en América Latina y el Caribe siendo la región de Centroamérica y el Caribe una de ellas y mostrando que los cultivos más sensibles ante el cambio climático serían la caña de azúcar, la yuca, el maíz, el arroz y el trigo. Así mismo, encontró que según el 95% de las proyecciones, la productividad de la caña de azúcar aumentaría del 5% al 25% en Centroamérica y el Caribe. En cuanto al maíz y la yuca, se prevé una variación del -2% al +10% en Centroamérica.

Recuadro 4 Impacto del Cambio Climático en la Sostenibilidad del Café en Nicaragua

Las áreas productoras de café actualmente en Nicaragua son Nueva Segovia, Jinotega, Madriz, Estelí, Matagalpa, Boaco y pequeñas regiones de Masaya, Carazo y Managua con cerca del 50 al 80% de zonas aptas para el cultivo. Hay otras áreas en los mismos departamentos y en los departamentos del Atlántico Norte, Chinandega, León y Chontales pero con menor grado de aptitud para el cultivo (cerca del 30-50%)

Escenarios de cambio climático hacia el 2050 muestran una importante disminución del área disponible para la producción (Ver figura siguiente), moviéndose hacia arriba del gradiente altitudinal y perdiéndose los cultivos en las áreas con menor altitud. En el 2050 las áreas con una aptitud alta para el café (50-60%) estarán en el sur de Jinotega y norte de Matagalpa, Las áreas aptas para el cultivo entre 30 y 50% estarán en Nueva Segovia en la frontera con Honduras, en Madriz, Atlántico Norte, y Boaco. Las áreas que sufrirán la mayor pérdida (40-60%) se encuentran en los departamentos de Nueva Segovia, Jinotega, Matagalpa, Boaco, y en la frontera de Carazo, Masaya y Managua. Las áreas que pierden menos (20-40%) se encuentran en Estelí y Madriz.

Figura 1. Zonas aptas para la producción de café actualmente y zonas aptas en el 2050 según escenarios de cambio climático. En el recuadro el coeficiente de variación para zonas aptas para el cultivo de *Coffea arabica*.



Actualmente la zona óptima de producción de café está en una elevación de entre 800 y 1400 msnm, para el año 2050 se proyecta que esta zona aumente entre los 1200 y 1600 msnm. Las zonas productoras de café que más sufrirán en el 2050 son las que hoy se encuentran ubicadas entre los 500 y los 1500 msnm.

Fuente: Laderach, P.et-al, 2009.

Parte 2. Análisis sobre impactos ambientales en zonas costeras y capacidades de adaptación

2.1 Aumento relativo del nivel del mar

Una de las mayores consecuencias que se conoce del cambio climático es el aumento del nivel del mar, lo cual intensificará el estrés de muchas zonas costeras, particularmente donde hay actividades humanas (Feenstra J., et-al. 1998). Cuando lo analizamos nos encontramos con que los impactos se manifiestan a nivel local en lugar de pensar que solo son cambios globales. El cambio en el nivel relativo del mar toma en cuenta la suma de componentes globales, regionales y locales ya que los cambios en el nivel de mar manifiestan variaciones geográficas que dependen de factores diferentes como cambios en la temperatura superficial del océano, la salinidad, los vientos, la circulación oceánica y muy a nivel regional los aportes de la variabilidad

climática en escalas de tiempos más pequeñas como los fenómenos de El Niño y la Niña (IPCC. 2007A), sumado a por ejemplo al ajuste isostático glacial y a los hundimientos naturales o inducidos por el hombre a nivel muy local. Por lo tanto el aumento relativo del nivel del mar es una respuesta al cambio climático y otros factores que varían de un lugar a otro. (Nicholls R. 2010)

En los últimos decenios se ha detectado que un gran responsable del aumento del nivel del mar es la expansión térmica del océano y que los modelos climáticos que coinciden con las observaciones oceánicas indican que esta dilatación térmica seguirá contribuyendo los próximos 100 años. Según el IPPC. (2007A) el nivel medio del mar en el mundo se elevó a un ritmo medio de 1,8 [1,3 a 2,3] mm anual desde 1961 a 2003. Otros autores (Domingues C., et-al. 2007) ha estimado en este mismo período incrementos de $1.5 \pm 0.4 \text{ mm yr}^{-1}$ (Cuadro 6) lo que está dentro del rango manejado por el IPPC para ese período.

Cuadro 6
Contribuciones al aumento del nivel del mar para el período 1961 a 2003

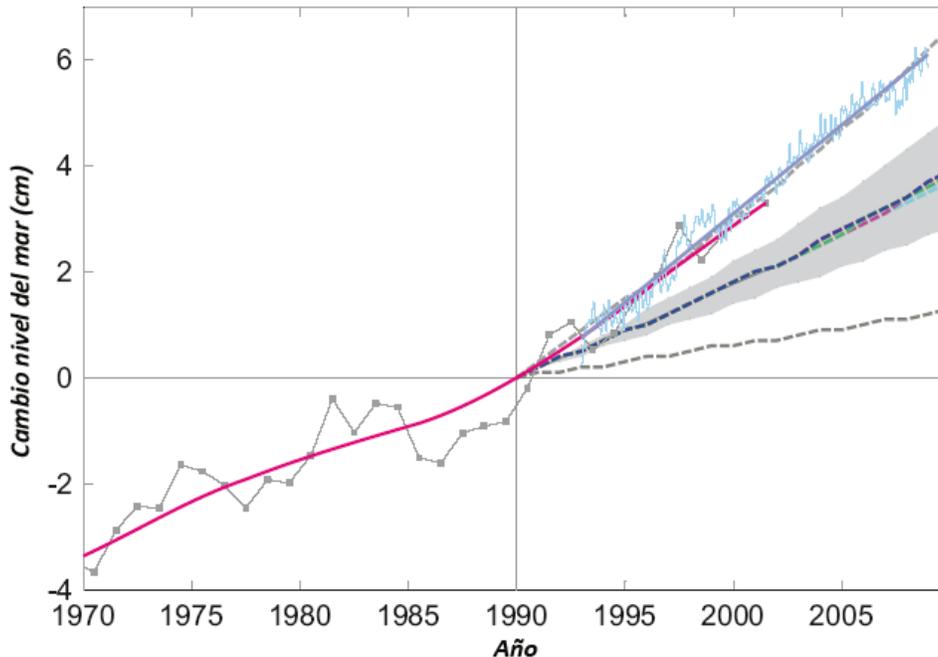
Contribución	Cantidad de aumento
Expansión térmica del Océano arriba de los 700 m	$0.5 \pm 0.1 \text{ mm/año}$
Expansión térmica del Océano abajo de los 700 m	$0.2 \pm 0.1 \text{ mm/año}$
Glaciares y casquetes de hielo	$0.5 \pm 0.2 \text{ mm/año}$
Capa de hielo de Groenlandia	$0.1 \pm 0.1 \text{ mm/año}$
Capa de hielo de la Antártida	$0.2 \pm 0.4 \text{ mm/año}$
Suma de contribuciones	$1.5 \pm 0.4 \text{ mm/año}$
Aumento del nivel del mar observado	$1.6 \pm 0.2 \text{ mm/año}$

Fuente: Domingues, et al. 2008. In Church, et-al, 2010.

Si el forzamiento radiactivo, en 2100, se estabilizase en los niveles del escenario A1B (720 ppm), la expansión térmica por sí sola provocaría un aumento de 0,3 a 0,8 m del nivel del mar en 2100 (respecto a 1980–1999) (IPCC.2007A). Otros autores como Rahmstorf S., (2007) aplicando escenarios futuros de cambio climático del IPPC al 2010 obtiene que el nivel del mar podría alcanzar entre 0,5 a 1,4 metros en relación al nivel que tenía en 1990 (IPCC, 2007A).

Richardson K. et-al. (2009) hace comparaciones del 2007 con relación a 1990 y muestra que algunos indicadores del clima están cambiando cerca del extremo superior a lo proyectado originalmente como en el caso del nivel del mar. (Ver gráfico 10)

Gráfico 10
Cambio en el nivel del mar entre 1970 y el 2008, en relación con el nivel del mar en 1990.



Nota: Las líneas continuas se basan en observaciones y han sido suavizadas para eliminar los efectos de la variabilidad interanual (líneas unidas por puntos de datos). Los datos en la mayoría de los últimos años se obtienen a través de sensores remotos. Las proyecciones del IPCC se muestran como líneas discontinuas y el sombreado como la incertidumbre en torno a las proyecciones.

Fuente: Tomado de Richardson K. et-al. 2009.

2.2. Registro del nivel medio del mar en la Región

Durante más de un siglo las mediciones con mareógrafos en los estuarios o zonas costeras, han sido ampliamente utilizadas para el monitoreo a nivel local del nivel del mar o los niveles de los estuarios, así como, para las operaciones de la navegación y los puertos, también para la colecta de datos para investigación científica útil para la predicción de modelos de mareas e inundaciones. Estos sistemas han sido operados por las autoridades portuarias y servicios marítimos nacionales con un alto nivel de precisión y fiabilidad. Desde 1933, el Servicio Permanente del Nivel Medio del Mar (Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL)), uno de los más antiguos servicios de carácter científico ha sido el responsable de la colecta, análisis, interpretación y publicación, de los datos del nivel del mar de la red mundial de mareógrafos (Belwitt G., et-al. 2010). No obstante, como se observa en el cuadro 5 para la región centroamericana este sistema en apariencia no es alimentado desde estaciones nacionales por lo que se sabe muy poco de este fenómeno en el nivel local. Se observa que el sistema de monitoreo mundial no tiene registros de la región desde el año 1998 a excepción de la estación Balboa que aporta registros hasta el 2003. Si asumimos que para que un análisis tenga significancia estadística se requieren series de datos >60-70

años (Mitchum G., 2010) solamente las estaciones Cristóbal y Balboa en Panamá podrían cumplir ese requisito.

2.3. Observaciones Nivel del Mar en la Región

Existen muy pocos estudios que muestren cuál es la tendencia del nivel del mar en la región y aún más en el nivel local. Gutiérrez y Chacón (2009) muestran la tendencia en la Ciudad de Puntarenas en Costa Rica para los años 1940-1980 observándose una tendencia al aumento (Gráfico 11) y mencionan que para la región de la zona tropical inter-americana la tendencia generalizada en que está aumentando es de 1 a 5 mm/año.

Otro caso de estudio es Panamá donde Arauz Diana (2003) muestra el comportamiento del nivel del mar en tres estaciones (Gráfico 12). La primera gráfica consigna el comportamiento del nivel del mar a lo largo de 83 años, de 1910 a 1993 en la estación Balboa en la salida al Pacífico del Canal de Panamá. Obsérvese, que la tendencia a incremento ha sido sostenida, durante todo el período, manteniendo un ritmo de incremento de 1.8 mm/año o sea 14,9 cm en 83 años. Claramente, se observa que en algunos años las elevaciones son mayores, obedeciendo a leyes físicas de expansión de la masa de agua por altas temperaturas del mar, como sucedió en el 82-83, durante un evento del niño. Seguidamente, se observa un descenso extremo, en esta ocasión producido por fenómenos fríos de macro-escala, la Niña.

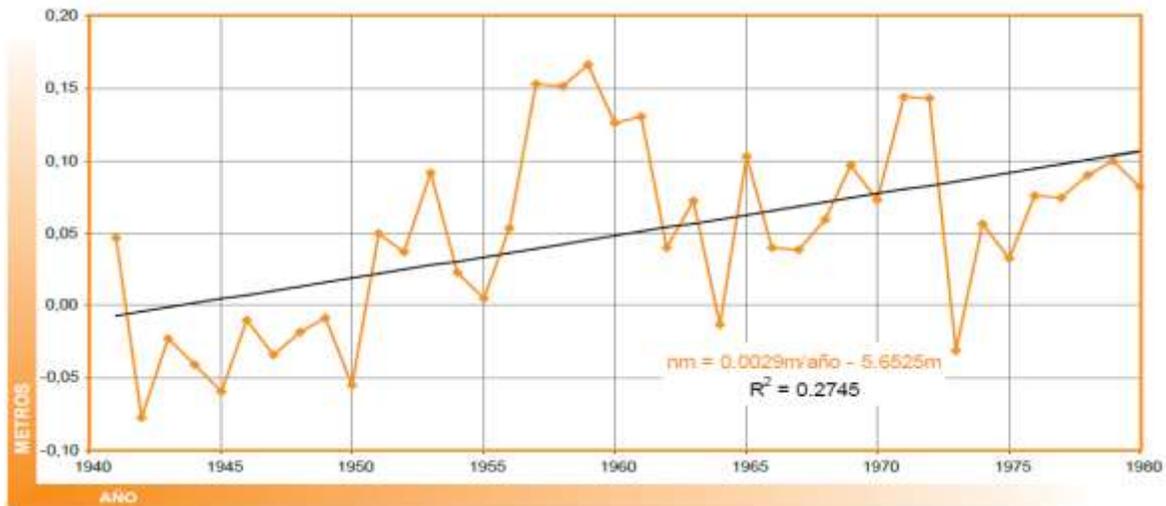
Cuadro 7

Registro de datos de nivel medio del mar en estaciones mareográficas de Centroamérica

País	Estación	Período registro	Años registro	Litoral
Guatemala	Puerto San José	1960-1969	9	Pacífico
	San José II	1963-1975	12	Pacífico
	Santo Tomás de Castilla	1964-1983	19	Caribe
Honduras	Puerto Castilla	1955-1968	13	Caribe
	Puerto Cortés	1948-1968	20	Caribe
El Salvador	La Unión	1948-1968	20	Pacífico
	Acajutla	1962-1991	29	Pacífico
Costa Rica	Puntarenas	1941-1966	25	Pacífico
	Quepos	1957-1994	37	Pacífico
	Puerto Limón	1948-1968	20	Caribe
	Coco Solo	1991-1996	5	Caribe
	Cristóbal	1909-1980	71	Caribe
	Puerto Armuelles	1951-1968	17	Pacífico
	Puerto Armuelles B	1983-1998	15	Pacífico
Panamá	Balboa	1908-2003	95	Pacífico
	Naos Island	1949-1968	19	Pacífico
	Naos Island 2	1991-1995	4	Pacífico

Fuente: Elaboración propia a partir de datos tomados de PSML. 2010.

Gráfico 11
Nivel relativo del mar en Puntarenas variación de la tendencia de 1940-1980

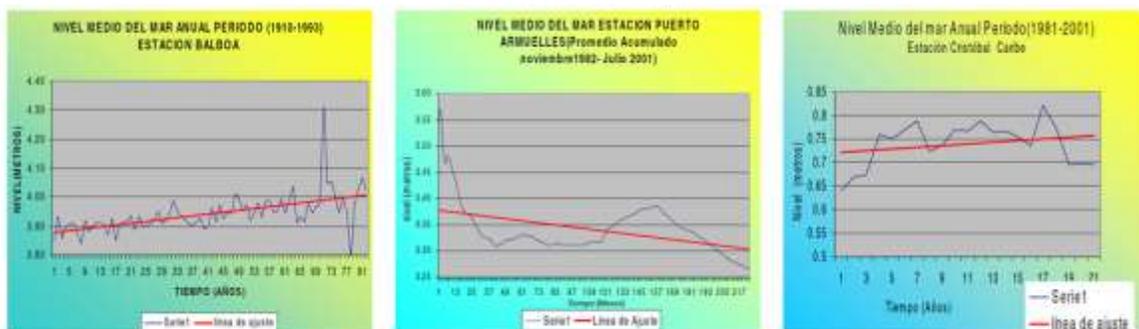


Nota: Los datos del Servicio Permanente para el Nivel Medio del Mar, Laboratorio Oceanográfico Proudman.
 Fuente: Tomado de: Gutierrez A., and Chacón S. 2009.

La tendencia observada en el segundo gráfico correspondiente a la estación Puerto Armuelles también en el Pacífico Panameño, muestra un descenso del nivel medio del mar de 6 cm, durante todo el período, a razón de 3.2 mm/año (Arauz D., 2003).

La tercera gráfica corresponde a la estación Cristóbal en el Caribe de Panamá, que utilizando 21 años de registros continuos desde 1981 hasta 2001, se observa que el nivel medio del mar presenta una tendencia de incremento a razón de 1.4 mm/año aproximadamente según la línea de ajuste aplicada. Sin embargo, según la autora, estos resultados no son suficientes para concluir que el nivel del mar está elevándose o que la tierra se está hundiendo, pues se podrían estar observadas posiciones extremas en ciclos de largo período (Arauz D., 2003).

Gráfico 12
Nivel relativo del mar en tres estaciones del Pacífico de Panamá.



Fuente: Tomado de: Arauz D., 2003.

2.4. Escenarios de cambio climático en las zonas costeras de Centroamérica

Muy pocos países de América Latina y el Caribe han abordado el tema de los impactos del aumento del nivel del mar en las comunicaciones nacionales entregadas a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), entre ellos El Salvador (CEPAL, GTZ, 2009). Este informó que las tierras productivas agrícolas situadas en zonas costeras podrían experimentar una reducción del 10% al 27,6% para un intervalo de 13 cm a 110 cm de elevación del nivel del mar (MARN, 2000). El mismo año 2000 en la comunicación nacional de Costa Rica se reporta los impactos del cambio climático sobre la ciudad de Puntarenas ante un aumento en el nivel del mar de 30 cm y 100 cm (MIRENEM, 2000).

Gráfico 13

Vulnerabilidad al crecimiento del nivel del mar de la ciudad de Puntarenas, Costa Rica.



Fuente: Tomado de Comunicación Nacional Colombiano al UNFCCC.

A diez años del huracán Mitch en Centroamérica el PNUMA et-al (2008) publicó una serie de datos y escenarios entre los cuales se encuentra el aumento del nivel del mar analizado a partir de un modelo de elevación digital de 90 metros (Gráfico 13). Este mapa muestra que si a causa del cambio climático, el nivel del mar aumentara 1 metro, todas las costas de América Central serían afectadas por el lado Pacífico y del Mar Caribe trayendo como consecuencia problemas para las poblaciones que viven en estas áreas y principalmente las islas pequeñas serían especialmente susceptibles.

Gráfico 14
Vulnerabilidad al crecimiento del nivel del mar en Centroamérica



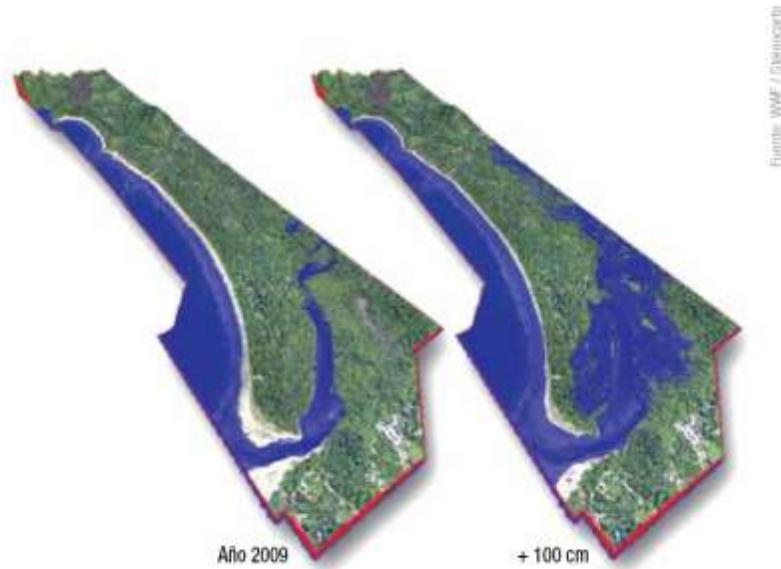
Un esfuerzo más detallado sobre las implicaciones del aumento del nivel del mar a nivel local fue el realizado por Drews C. y A. Fonseca (2009) en Playa Grande en el Parque Nacional Las Baulas en Costa Rica, un sitio de anidación importante del Pacífico Oriental para la tortuga baúla. A partir del supuesto de que el nivel del mar aumentaría 1 m para fines de siglo por efecto del cambio climático. Esto implicaría un retroceso de la playa aproximado de 50 m tierra adentro.

Adicionalmente, el modelo de elevación digital de alta resolución revela que gran parte de la inundación de la zona de Playa Grande ocurrirá desde atrás, conforme el nivel del mar aumente y el agua avance por la boca del estero Tamarindo, y por los humedales que los rodean, inundando algunos terrenos localizados adyacentes al manglar actual (Gráfico 14). Esto implica que el futuro de Playa Grande depende de su capacidad de retroceder ante el aumento del nivel del mar y mantener a la vez las condiciones ecológicas idóneas para la anidación de la tortuga baúla. Se requiere entonces que la infraestructura existente y futura no obstaculice tal retroceso y que la zona de amortiguamiento del parque nacional sea garante de medidas de mitigación ambiental. La propuesta de ley para rectificación de los límites del parque que reduciría su ancho actual a una franja de 50 m, implicaría que a fin de siglo el parque nacional quedaría sumergido. La playa quedaría situada dentro del propuesto refugio de vida silvestre y

las tortugas y sus nidos competirían directamente por espacio con casas y otra infraestructura (Drews C. y A. Fonseca, 2009).

Figura 1

Ortofotografía inclinada de Playa Grande ilustrando el actual nivel del mar y el llenado correspondiente a 1 m de aumento del nivel del mar, probable a finales de siglo



Fuente: Tomado de: Drews C. y A. Fonseca 2009.

Bibliografía

- Aguilar, E. et al. 2005. "Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003", en *Journal of Geophysical Research*, vol. 110. Washington, Unión Estadounidense de Geofísica.
- ANAM. 2000. 1st National Communication to the UNFCCC, en http://unfccc.int/national_reports. Panamá, Autoridad Nacional del Ambiente.
- Anchukaitis, K. y Evans, M. 2010. "Tropical cloud forest climate variability and the demise of the Monteverde golden toad", en *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, vol. 107, n° 11. Washington, Academia Nacional de las Ciencias.
- Anderson, E. et al. 2008. Potential impacts of climate change on biodiversity in Central America, Mexico, and the Dominican Republic, en <http://pnud.onu.org.do/sites/pnud.onu.org.do/files/3.%20Anderson.%20%20Impacts%20clima.%20pdf.pdf>. Ciudad de Panamá, Cathalac y Usaid.
- Arauz, D. 2003. Curso de entrenamiento "Observación y análisis de datos del nivel del mar", en <http://bdigital.binal.ac.pa/bdp/descarga.php?f=artpma/nivel%20del%20mar.pdf>. Ciudad de Panamá, Departamento de Oceanografía e Hidrografía, Servicio Marítimo Nacional, Ministerio de Gobierno y Justicia.
- Blewitt, G. et al. 2010. "Geodetic observations and global reference frame contributions to understanding sea-level rise and variability", en Church et al. (eds.). *Understanding sea-level rise and variability*. Oxford, Blackwell Publishing.
- Boden, T.A., G. Marland, and R. J. Andres. 2009. "Global, Regional, and National Fossil Fuel CO₂ Emissions." Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC), Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. doi 10.3334/CDIAC/00001. Available online at: http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/overview_2006.html.
- CAIT- WRI. 2010. Climate analysis indicators tool (versión 7.0), en <http://cait.wri.org>. Washington, World Resources Institute.
- CEPAL y GTZ. 2009. Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe: una reseña. Santiago de Chile, Naciones Unidas.
- [CEPAL. 2009. Informe de Factibilidad: Economía del Cambio Climático en Centroamérica. Ciudad de México, Comisión Económica para América Latina y El Caribe.](#)
- Church, J. et al. 2010. *Chapter 13. Sea Level Rise and Variability – Synthesis and Outlook for the Future*. In *Understanding Sea-Level Rise and Variability*, eds. Church J., Woodworth P., Aarup T., and Wilson W. Oxford, Blackwell Publishing.

- Clark, D. A. et al. 2003. "Tropical rain forest tree growth and atmospheric carbon dynamics linked to interannual temperature variation during 1984-2000", en *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, vol. 100, n° 10. Washington, Academia Nacional de las Ciencias.
- Conde, C. y Saldaña, S. 2007. "Cambio climático en América Latina y el Caribe: impactos, vulnerabilidad y adaptación", en *Revista Ambiente y Desarrollo*, vol. 23, n° 2. Santiago de Chile, Centro de Investigación y Planificación para el Medio Ambiente.
- Corn, P. S. 2005. "Climate change and amphibians", en *Animal Biodiversity and Conservation*, vol. 28, n° 1. Barcelona, Museo de Ciencias Naturales de Barcelona.
- Deliso, E. 2008. Climate change and the hummingbirds of the Monteverde cloud forest, Costa Rica, en <http://www.bio-nica.info/biblioteca/Deliso2007Hummingbirds.pdf>. San José, Centro Científico Tropical.
- Díaz-Ambrona, C. et al. 2004. Global climate change and food security for small farmers in Honduras. *New directions for a Diverse Planet. Proc. 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia*, T. Fischer, N. Turner, J. Angus, L. McIntyre, M. Robertson, A. Borrell and D. Lloyd, Eds., The Regional Institute, Gosford.
- Domingues, C. et al. 2007. *Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise*, en *Nature*, vol. 453, en http://www.astesback.com/GEP/Nature%20Higher%20Warming%20SLR%20rate_s.pdf. Nature Publishing Group.
- Drews, C. y Fonseca, A. 2009. Aumento del nivel del mar por cambio climático en Playa Grande, parque nacional Las Baulas, Costa Rica. Simulación de inundación basada en un modelo de elevación digital de alta resolución e implicaciones para el manejo del parque: informe técnico. San José, WWF.
- EDGAR. 2009. European Commission, Joint Research Centre (JRC)/Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL). Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), release version 4.0. Available at: <http://edgar.jrc.ec.europa.eu>.
- EIA. 2008. International Energy Annual 2006, en <http://www.eia.doe.gov/iea/carbon.html>. Washington, DC: U.S. Department of Energy.
- Emanuel, K. A. 1987. "The dependence of hurricane intensity on climate", en *Nature*, vol. 326. Nature Publishing Group.
- EPA. 2006. Global Anthropogenic Emissions of Non-CO2 Greenhouse Gases 1990-2020, en <http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/international.html>. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.

- Feeley, K. J. et al. 2007. "Decelerating growth in tropical forest trees", en *Ecology Letters*, vol. 10, n° 6. Wiley-Blackwell y el Centro Nacional de Investigación Científica de Francia.
- Feenstra, J. F. et al. (eds.). 1998. Handbook on methods for climate change impact assessment and adaptation strategies, en [http://research.fit.edu/sealevelriselibrary/documents/doc_mgr/465/Global Methods for CC Assessment Adaptation - UNEP 1998.pdf](http://research.fit.edu/sealevelriselibrary/documents/doc_mgr/465/Global_Methods_for_CC_Assessment_Adaptation_-_UNEP_1998.pdf). Pnuma y el Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Vrije de Amsterdam.
- Giorgi, F. 2006. "Climate change hot-spots", en *Geophysical Research Letters*, vol. 33, L08707, doi:10.1029/2006GL025734. Washington, Unión Estadounidense de Geofísica.
- Gutiérrez, A. y Chacón, S. 2009. "Sea level and surface sea temperature variation in the tropical intra-Americas sea", en Hoffman et al. (eds.). *Cetaceans and other marine biodiversity of the eastern tropical pacific: options for adapting to climate change*. Reporte del taller realizado del 9 al 11 de febrero en San José. San José, WWF.
- Houghton, R. 2008. "Carbon Flux to the Atmosphere from Land-Use Changes: 1850-2005", en *TRENDS: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.
- IEA. 2008. CO₂ Emissions from Fuel Combustion (2008 edition), en http://data.iea.org/ieastore/co2_main.asp. Paris, France: OECD/IEA.
- Imbach, P. et al. 2010b. Impactos del cambio climático en las áreas protegidas de Mesoamérica: prioridades para el diseño de estrategias de adaptación. Presentación realizada en el Tercer Congreso Mesoamericano de Áreas Protegidas, celebrado del 8 al 12 de marzo en Mérida, Yucatán.
- Imbach, P. et al. 2010a. Changes and uncertainties in the terrestrial water cycle and vegetation of Mesoamerica under climate change scenarios (documento preliminar). Turrialba, Catie.
- IMN y CRRH. 2008. *Clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica*. San José, Instituto Meteorológico Nacional, Comité Regional de Recursos Hidráulicos.
- IMN y MINAET. 2009. *Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. San José, Instituto Meteorológico Nacional, Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones de Costa Rica.
- INBio. 2009. *Biodiversidad y cambio climático en Costa Rica*. Heredia, Instituto Nacional de Biodiversidad.
- IPCC y WGII. 2007. *Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group II. Working Group II

- Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change 2007: Summary for Policymakers. London, Cambridge University Press.
- IPCC. 2007a. Cambio Climático 2007 – Base de Ciencia Física. Contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático 2007. London, Cambridge University Press.
- IPCC. 2007b. Cambio Climático 2007 – Impacto, Adaptación y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático 2007. London, Cambridge University Press.
- Jones, P. y Thornton, P. 2003. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environ. Chang.*
- Karmalkar, A. V. et al. 2008. “Climate change scenario for Costa Rican montane forests”, en *Geophysical Research Letters*, vol. 35, L11702, doi:10.1029/2008GL033940. Washington, Unión Estadounidense de Geofísica.
- Laderach, P. et al. 2011. “Predicted impact of climate change on coffee supply chains”, en Leal Filho (ed.). *The economic, social and political elements of climate change*. Heidelberg, Springer.
- Lawton, R. et al. 2001. “Climatic impact of tropical lowland deforestation on nearby montane cloud forests”, en *Science*, vol. 294, n° 5542. Asociación Estadounidense para el Avance de la Ciencia.
- Lips, K. et al. 2003. “Ecological traits predicting amphibian population declines in Central America”, en *Conservation Biology*, vol. 17, n° 4. Wiley-Blackwell y la Sociedad para la Biología de la Conservación.
- Lobell, D. et al. 2008. “Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030”, en *Science*, vol. 319, n° 5863. Asociación Estadounidense para el Avance de la Ciencia.
- Magrin, G. et al. 2007. “América Latina”, en IPCC. *Cambio climático 2007: impacto, adaptación y vulnerabilidad*. Contribución del grupo de trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC. Cambridge, Cambridge University Press.
- MARENA. 2001. *Impacto del Cambio Climático en Nicaragua*. Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, en http://unfccc.int/national_reports. Nicaragua, PNUD, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- MARN. 2000. 1st National Communication to the UNFCCC, en http://unfccc.int/national_reports. El Salvador, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

- MARN. 2001. 1st National Communication to the UNFCCC, en http://unfccc.int/national_reports. Guatemala, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- Mendoza, F. et al. 2001. "Sensibilidad de las zonas de vida de Holdridge en Nicaragua en función del cambio climático", en Revista Forestal Centroamericana, n° 33. Turrialba, Catie.
- MINAE. 2000. 1st National Communication to the UNFCCC, en http://unfccc.int/national_reports. San José, Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica, Instituto Meteorológico Nacional.
- Mitchum, G. et al. 2010. "Modern sea-level-change estimates", en Church et al. (eds.). Understanding sea-level rise and variability. Oxford, Blackwell Publishing.
- Neelin, J. D. et al. 2006. "Tropical drying trends in global warming models and observations", en Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), vol. 103, n° 16. Washington, Academia Nacional de las Ciencias.
- Nicholls, R. 2010. "Impacts of and responses to sea-level rise", en Church et al. (eds.). Understanding sea-level rise and variability. Oxford, Blackwell Publishing.
- NOAA. 2010. *History North Atlantic and Pacific Cyclone Tracks 1851-2009. DataBase en www.nhcl.noaa.gov*. Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos.
- NOAA. 2010. Trends in atmospheric carbon dioxide, en <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>. Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos.
- Patz, J. et al. 2005. "Impact of regional climate change on human health", en Nature, vol. 438, n° 7066. Nature Publishing Group.
- Pnuma et al. 2008. *Mitch una década después: panorama de tendencias del medio ambiente en América Central*, en <http://www.pnuma.org/deat1/pdf/mitchdecadadespues.pdf>.
- Pounds J. 2006. 2007. "Global warming and amphibian losses: the proximate cause of frog declines? (reply)", en Nature, vol. 447, n° 7144. Nature Publishing Group.
- Pounds J. y Puschendorf, R. 2004. "*Clouded futures*", en Nature, vol. 427, n° 8. Nature Publishing Group.
- Pounds, A. 2006. "The proximate cause of frog declines?", en Nature, vol. 439. Nature Publishing Group.
- Pounds, J. A. 2001. "Climate and amphibian declines", en Nature, vol. 410, n° 6829. Nature Publishing Group.

- Pounds, J. A. et al. 1999. "Biological response to climate change on a tropical mountain", en *Nature*, vol. 398, n° 6728. Nature Publishing Group.
- Pounds, J. et al. 2006. "Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming", en *Nature*, vol. 439. Nature Publishing Group.
- Rahmstorf, S. 2007. "A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise", en *Science*, vol. 315, n° 5810. Asociación Estadounidense para el Avance de la Ciencia.
- Rauscher, S. et al. 2008. "Extension and intensification of the Meso-American mid-summer drought in the twenty-first century", en *Climate Dynamics*, vol. 31, n° 5. Springer-Verlag.
- Reiter, P. 2009. Los mitos de la malaria con relación al cambio climático, en <http://www.scidev.net/es/health/climate-change-insect-borne-disease/opinions/los-mitos-de-la-malaria-con-relaci-n-al-cambio-cli.html>. Red de Ciencia y Desarrollo.
- Richardson, K. et al. 2009. Informe de síntesis del congreso científico internacional Cambio Climático: Riesgos, Retos y Decisiones Globales, realizado en Copenhague del 10 al 12 de marzo, en http://climatecongress.ku.dk/pdf/Synthesis_Report_-_Spanish_-_ISBN.pdf/. Copenhague, Universidad de Copenhague.
- Sako, M. 2010. Global Annual Mean Surface Air Temperature Change, en <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/>. NASA.
- Serreze, M. 2010. "Understanding recent climate change", en *Conservation Biology*, vol. 24, n° 1. Wiley-Blackwell y la Sociedad para la Biología de la Conservación.
- Shetty, P. 2009. Cambio climático y enfermedades transmitidas por insectos: la esencia, en <http://www.scidev.net/es/china/features/cambio-clim-tico-y-enfermedades-transmitidas-por-i.html>. Red de Ciencia y Desarrollo.
- SICA. et al. 2006. *Impacts and Adaptation to Climate Change and Extreme Events in Central America*. San José, Central America Integration System, Regional Committee on Hydraulic Resources, University of Costa Rica, Geophysical Research Center.
- Trenberth, K. 2005. "Uncertainty in hurricanes and global warming", en *Science*, vol. 308, n° 5729. Asociación Estadounidense para el Avance de la Ciencia.
- USAID. 2010. Impacto del cambio climático en la biodiversidad y bosques de Guatemala: reporte técnico del Programa de Comercio y Competitividad. Ciudad de Guatemala, Usaid.

Webster, P. J. et al. 2005. "Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment", en *Science*, vol. 309, n° 5742. Asociación Estadounidense para el Avance de la Ciencia.

Whitfield, S. et al. 2007. "Amphibian and reptile declines over 35 years at La Selva, Costa Rica", en *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, vol. 104, n° 20. Washington, Academia Nacional de Ciencias.

World Bank. 2010. *World Development Report 2010: Development and Climate Change*. "Selected Indicators - Table A2", en <http://www.worldbank.org/wdr>. Washington, DC, The World Bank.

Glosario

Acidificación del océano: Disminución del pH del agua de mar por efecto de la incorporación de *dióxido de carbono antropogénico*.

Antropogénico: Resultante de la actividad de los seres humanos o producido por éstos.

AR4: Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático ([IPCC](#)) de las [Naciones Unidas](#), es el cuarto en una serie de informes con el fin de evaluar científica, técnica y socioeconómicamente información con respecto al [cambio climático](#), sus efectos potenciales, y las opciones de [adaptación](#) y mitigación.

Biotemperatura: En general, se estima que el crecimiento vegetativo de las plantas sucede en un rango de temperaturas entre los 0 °C y los 30 °C, de modo que la biotemperatura es una temperatura corregida que depende de la propia temperatura y de la duración de la estación de crecimiento, y en el que las temperaturas por debajo de la de congelación se toman como 0 °C, ya que las plantas se aletargan a esas temperaturas.

Bosques latifoliados: Bosque con árboles de hojas anchas, es decir, con ausencia o escasez de coníferas

Cambio climático: Variación del estado del *clima* identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales, a *forzamientos externos* o a cambios *antropogénicos* persistentes de la composición de la atmósfera o del uso de la tierra. La *Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) de las Naciones Unidas*, en su artículo 1, define el cambio climático como "cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables". La CMCC diferencia, pues, entre

el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales.

Cambio de nivel del mar: El nivel del mar puede variar, a nivel mundial o local, como consecuencia de: i) cambios de configuración de las cuencas oceánicas, ii) variaciones de la masa total del agua, o iii) variaciones de la densidad del agua. Los cambios de nivel del mar inducidos por variaciones de la densidad del agua se denominan estéricos. Las variaciones de densidad inducidas únicamente por cambios de la temperatura se denominan termostéricas, mientras que las inducidas por variaciones de la salinidad se denominan halostéricas.

Clima: El clima se suele definir en sentido restringido como el estado promedio del tiempo y, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta millares o millones de años. El período habitual de promedio es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Las magnitudes son casi siempre variables de superficie (por ejemplo, temperatura, precipitación o viento). En un sentido más amplio, el clima es el estado del *sistema climático* en términos tanto clásicos como estadísticos.

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC): Fue adoptada en Nueva York el 9 de mayo de 1992 y rubricada ese mismo año en la Cumbre para la Tierra, celebrada en Río de Janeiro, por más de 150 países más la Comunidad Europea. Su objetivo último es “la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el *sistema climático*”. Contiene cláusulas que comprometen a todas las Partes. En virtud de la Convención, las Partes incluidas en el Anexo I (todos los países de la OCDE y países de economía en transición) se proponen retornar, de aquí al año 2000, a los niveles de emisión de *gases de efecto invernadero* no controlados por el Protocolo de Montreal que existían en 1990. La Convención entró en vigor en marzo de 1994.

Dióxido de carbono (CO₂): Gas de origen natural, subproducto también de la combustión de combustibles fósiles procedentes de depósitos de carbono de origen fósil, como el petróleo, el gas o el carbón, de la quema de *biomasa*, y de los cambios de *uso de la tierra* y otros procesos industriales. Es el principal gas de efecto *invernadero antropogénico* que afecta al equilibrio adiativo de la Tierra. Es el gas utilizado como referencia para medir otros gases de efecto invernadero, por lo que su *Potencial de Calentamiento Mundial* (PCM) es igual a 1.

Escenario climático: Representación plausible y en ocasiones simplificada del clima futuro, basada en un conjunto de relaciones climatológicas internamente coherente definido explícitamente para investigar las posibles consecuencias del *cambio climático antropogénico*, y que puede introducirse como datos entrantes en los modelos de impacto. Las *proyecciones climáticas* suelen utilizarse como punto de partida para definir escenarios climáticos, aunque éstos requieren habitualmente información adicional, por ejemplo sobre el clima actual observado. Un escenario de cambio climático es la diferencia entre un escenario climático y el clima actual.

Escenarios IE-EE: Escenarios de emisión desarrollados por Nakićenovic y Swart (2000) y utilizados, en particular, como base para algunas de las *proyecciones climáticas*.

Las **especies invasoras:** son [animales](#), [plantas](#) u otros [organismos](#) transportados e [introducidos](#) por el [ser humano](#) en lugares fuera de su área de distribución natural y que han conseguido establecerse y dispersarse en la nueva región, donde resultan dañinos.

Evapotranspiración: Proceso combinado de evaporación en la superficie de la Tierra y de transpiración de la vegetación.

Forzamiento radiativo: Variación de la irradiancia vertical neta (expresada en vatios por metro cuadrado ($W\ m^{-2}$)) en la tropopausa por efecto de un cambio interno o externo del forzamiento del *sistema climático* (por ejemplo, una variación de la concentración de Gases de efecto invernadero)

Gas de efecto invernadero (GEI): Componente gaseoso de la *atmósfera*, natural o antropogénico, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de *radiación infrarroja térmica* emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Esta propiedad ocasiona el efecto invernadero. El vapor de agua (H_2O), el *dióxido de carbono* (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4) y el ozono (O_3) son los gases de efecto invernadero primarios de la atmósfera terrestre. Además, la atmósfera contiene cierto número de *gases de efecto invernadero* enteramente antropogénicos, como los halocarbonos u otras sustancias que contienen cloro y bromo, y contemplados en el *Protocolo de Montreal*. Además del CO_2 , del N_2O y del CH_4 , el *Protocolo de Kioto* contemplaba los gases de efecto invernadero hexafluoruro de azufre (SF_6), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC).

Incertidumbre: Expresión del grado de desconocimiento de un determinado valor (por ejemplo, el estado futuro del *sistema climático*). Puede deberse a una falta de información o a un desacuerdo con respecto a lo que es conocido o incluso cognoscible.

Índice de área foliar: El índice de superficie foliar o leaf area index (LAI) es uno de los parámetros más útiles para caracterizar la vegetación. Se define como unidades de superficie de hoja verde por unidad de superficie de terreno, pudiéndose valorar como total (ambas caras) o proyectada (superficie capaz de interceptar la radiación).

IPCC: El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático o Panel Intergubernamental del Cambio Climático, conocido por el [acrónimo](#) en [inglés](#) IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), se estableció en el año 1988 por la [Organización Meteorológica Mundial \(WMO, World Meteorological Organization\)](#) y el [Programa Ambiental de las Naciones Unidas \(UNEP, United Nations Environment Programme\)](#).

MAPSS: Mapped Atmosphere Plant Soil System. Modelo que simula la interacción entre el suelo, la vegetación y la atmósfera para determinar la vegetación potencial de un sitio (Neilson.1 995) y que es utilizado para ver el cambio en la vegetación futura a causa del cambio climático.

Mitigación: Intervención humana encaminada a reducir las fuentes o potenciar los *sumideros de gases de efecto invernadero*.

Modelo climático (en espectro o en jerarquía): Representación numérica del *sistema climático* basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, en sus interacciones y en sus procesos de retroefecto, y que recoge todas o algunas de sus propiedades conocidas. El sistema climático se puede representar mediante modelos de diverso grado de complejidad; en otras palabras, para cada componente o conjunto de componentes es posible identificar un espectro o jerarquía de modelos que difieren en aspectos tales como el número de dimensiones espaciales, el grado en que aparecen representados los procesos físicos, químicos o biológicos, o el grado de utilización de *parametrizaciones* empíricas. Los modelos de circulación general acoplados atmósfera-océano (MCGAAO) proporcionan la más completa representación del sistema climático actualmente disponible. Se está evolucionando hacia modelos más complejos que incorporan química y biología interactivas. Los modelos climáticos se utilizan como herramienta de investigación para estudiar y simular el *clima* y para fines operacionales, en particular *predicciones climáticas* mensuales, estacionales e interanuales.

Probabilidad: La posibilidad de que acaezca determinado evento o resultado, siempre que sea posible estimarlo por métodos probabilísticos.

Permafrost: Terreno perennemente congelado que se forma cuando la temperatura se mantiene por debajo de 0°C durante varios años.

Piso altitudinal de vegetación: Ámbito de condiciones climáticas y florísticas homogéneas e individualizadas en forma de determinadas comunidades vegetales que, al modo de franjas se van sucediendo conforme se asciende.

Variabilidad climática: El concepto de variabilidad climática hace referencia a las variaciones del estado medio y a otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del *clima* en todas las *escalas espaciales y temporales* más amplias que las de los fenómenos meteorológicos individuales. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del *sistema climático* (variabilidad interna) o a variaciones del *forzamiento externonatural* o antropogénico (variabilidad externa).

Vector: Organismo hematófago (por ejemplo, un insecto) que transmite un organismo patógeno de un portador a otro.

Vulnerabilidad: Grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del *cambio climático*, y en particular la *variabilidad* del clima y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema, y de su *sensibilidad* y capacidad de adaptación.