

Cambio  
Climático en el  
medio ambiente  
Oceánico y  
Sistema marino y  
costero de  
Centroamérica

Una Guía para la comprensión  
de los impactos del cambio  
climático en las Áreas Marinas  
Protegidas



**Publicado y Financiado por:** Proyecto Biodiversidad Marino Costera en Costa Rica, Desarrollo de Capacidades y Adaptación al Cambio Climatico (BIOMARCC)

**Elaboración técnica:** Lenin Corrales

**Copyright:** © 2014. BIOMARCC

Esta publicación puede citarse sin previa autorización con la condición que se mencione la fuente

**Citar como:** BIOMARCC. 2014. *Cambio Climático en el medio ambiente Oceánico y Sistema marino y costero de Centroamérica: Una Guía para la comprensión de los impactos del cambio climático en las Áreas Marinas Protegidas.* San José-Costa Rica. 31 pags.

**FOTOGRAFÍAS:** Principal portada y Contraportada (freeunderwaterimages.com), Pág. 3 (Lenin Corrales), Pág. 6 (Lenin Corrales), Pág. 14 (Lenin Corrales), Pág. 15 (freeunderwaterimages.com), Pág. 16 (Lenin Corrales), Pág. 17 (Yamil Saénz), Pág. 18 (Lenin Corrales), Pág. 19 (Yamil Saénz), Pág. 20 (Yamil Saénz), Pág. 21 (Lenin Corrales), Pág. 23 y 24 (freeunderwaterimages.com), Pág. 25 (Yamil Saénz), Pág. 26 (Lenin Corrales), Pág. 28 (Lenin Corrales).

BIOMARCC-SINAC-GIZ, es un proyecto de apoyo al Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC-MINAET) ejecutado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, por encargo del Ministerio Alemán de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU) en el marco de su Iniciativa Protección del Clima (IKI). El objetivo principal del proyecto es *“Incrementar las capacidades de adaptación de los ecosistemas marino-costeros de Costa Rica ante las consecuencias del Cambio Climático”*



# Cambio Climático en el medio ambiente marino y costero de Centroamérica: Una Guía para la comprensión de los impactos del cambio climático en las Áreas Marinas Protegidas

## INDICE

	<b>Página</b>
1. Cambio climático previsto.....	4
2. ¿Qué le pasaría al Océano, el mar y a la zona marino-costera?.....	7
3. ¿Qué conocemos acerca de los impactos sobre la Biodiversidad Marina?.....	15
4. Consecuencias socioeconómicas en el medio marino.....	25
5. Recomendaciones para los administradores de las Áreas Marinas Protegidas..	28
6. Referencias.....	31



## 1. Cambio climático previsto

### Variabilidad del clima y cambio climático

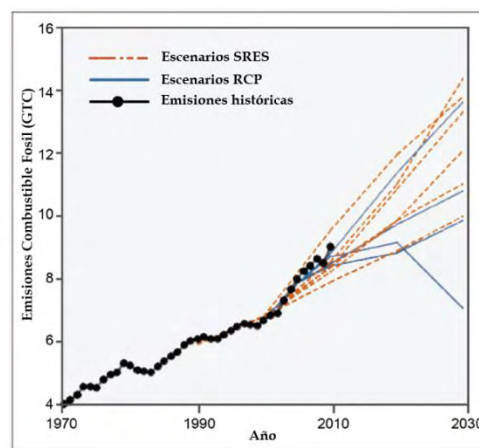
La variación natural del clima en la tierra se da a lo largo de estaciones, decenios y siglos en respuesta a variables tanto naturales como humanas, obedeciendo a los ciclos y las tendencias de la órbita de la tierra, la radiación solar incidente, la composición química de la atmósfera, la circulación de los océanos, la biosfera y otras muchas causas (OMM.2013).

El cambio climático es el proceso de cambio a largo plazo del estado medio del clima, el cual puede deberse a causas naturales o antropogénicas, no obstante, hoy día se reconoce que los rápidos cambios que se están dando desde mediados del siglo pasado son en gran medida producto de la emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera por parte de los humanos incluidos también otras actividades que contribuyen con emisiones de contaminantes, aerosoles y modificaciones de la superficie terrestre como la urbanización y la deforestación (OMM.2013).

Datos de la OMM (2013) publicados sobre los gases de efecto invernadero muestran que la concentración atmosférica media mundial de dióxido de carbono alcanzó 389 ppm en 2010 (un aumento del 39 por ciento en comparación con la época preindustrial), el metano llegó a 1.808,0 ppm (un 158% aumento) y el óxido nitroso a 323,2 ppm (un 20% de aumento). Este cambio de la composición de la atmósfera provoca un aumento de la

temperatura media mundial, lo que a su vez, ejerce una influencia significativa sobre el ciclo hidrológico y redanda en otros cambios de las condiciones climáticas y meteorológicas. En marzo del 2014 las emisiones de dióxido de carbono alcanzaron las 399.65 ppm (Tans and Keeling. 2014)

La evidencia física que existe hasta ahora muestra que los cambios en la atmósfera pueden tener un fuerte efecto sobre el clima y los océanos en el futuro. Los científicos han elaborado una serie de proyecciones y modelos relacionados con la gama de escenarios posibles de emisiones basados en las diferentes políticas de los Gobiernos (Figura 1).



**Figura 1.** Emisiones totales observadas (línea negra-emisiones históricas) comparadas con los escenarios de emisiones del IPCC del Cuarto informe del 2005 (Escenarios SRES-AR4) y el Quinto Informe del 2013 (Escenarios RCP). Tomado de: <http://ncadac.globalchange.gov/>

## Temperatura ambiental

En la última evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC.2007) se concluyó que la tierra se está calentando y que existe una probabilidad del 90% que este calentamiento sea causado principalmente por las actividades humanas -básicamente los gases efecto invernadero y la eliminación de la vegetación natural (Richardson K. et-al. 2009). Los reportes indican que el incremento ha sido en promedio de  $\sim 0,2$  °C por década en los últimos 30 años, llegando a  $\sim 0,60$  °C en el año 2005 (Hansen J., et-al 2006).

En los últimos 60 años en Mesoamérica se han observado aumentos en la temperatura de aproximadamente 1°C (Aguilar, E., et al. 2005) valor por encima del promedio mundial (Hansen J., et-al 2006).

Escenarios a escala regional utilizando escenarios horizontes temporales de corto plazo (2020, 2030), mediano plazo (2040, 2050) y largo plazo (2100) reportan cambios en la temperatura dependiendo del escenario de emisión de gases de aumentos de temperatura de hasta 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 (SICA, et-al. 2006).

## Precipitación

Datos de los últimos 60 años de la región de Centroamérica muestran que en la precipitación esta ocurriendo una gran variabilidad espacial, pero que no hay aumentos importantes en la cantidad de precipitación, no obstante, 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 período de tiempo más corto (Aguilar et al., 2005).

Según simulaciones de escenarios climáticos globales en la región de Mesoamérica se espera un pronunciado decrecimiento de la precipitación y un aumento en la variabilidad de la precipitaciones conduciendo a una región en el futuro más seca (Rauscher et al., 2008; Giorgi, 2006; Neelin et al., 2006; Aguilar et al., 2005). Así mismo, estas características la han hecho surgir como un “hot spot” de cambio climático a nivel de los trópicos del mundo (Giorgi, 2006).

En un reporte preparado en el 2006 por el SICA (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.

El cuadro siguiente presenta los rangos de cambio en la 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.

**Cuadro 1.** Cambio de la precipitación en la Región de Centroamérica en los horizontes de tiempo 2020, 2050,2080

Estación	2020	2050	2080
	% cambio Precipitación		
<b>Seca</b>	-7 a +7	-12 a +5	-20 a +8
<b>Húmeda</b>	-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.



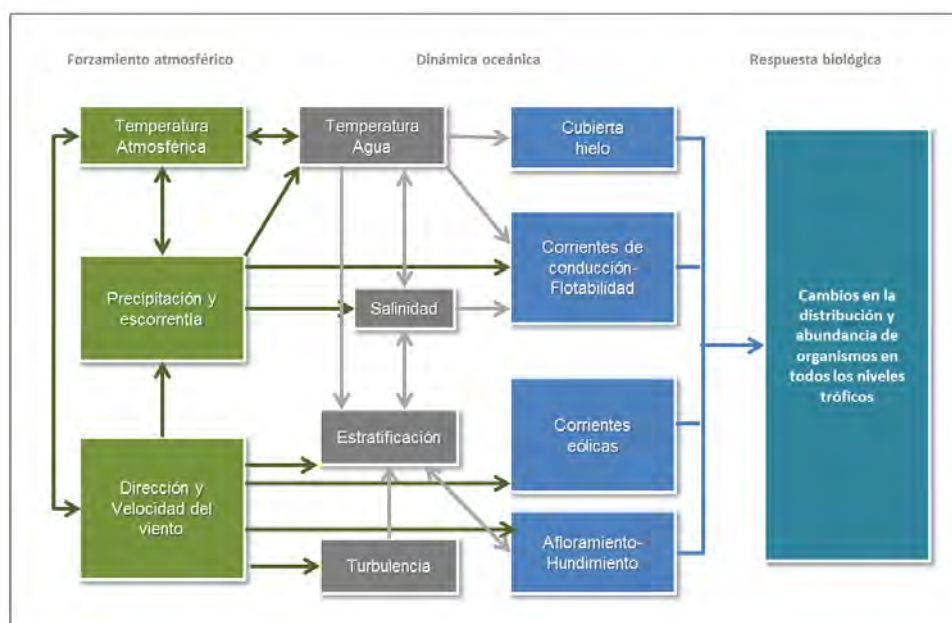
## 2. ¿Qué le pasaría al Océano, el mar y a la zona marino-costera?

El océano desempeña un papel integral en el clima al estar intrínsecamente vinculado a la atmósfera a través; del almacenamiento de calor, transporte del calor a lo largo de la tierra, evaporación de masas de agua, congelación y descongelación de las regiones polares y almacenamiento e intercambio de gases incluyendo el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Herr, D. and Galland, G. 2009).

La escala y el ritmo a la que está sufriendo cambios la atmósfera debido al impulso producido por los aumentos en la concentración de gases de efecto invernadero sin precedentes en la historia humana (IPCC.2007), está provocando cambios negativos en los océanos que comprometen en el futuro servicios que estos prestan a los ecosistemas y las

poblaciones humanas (Herr, D. and Galland, G. 2009) y se prevé que sucedan una serie de efectos generalizados en los que se encuentran; un cambio en la distribución a través de todos los niveles tróficos; una disminución en la productividad primaria en aquellos ecosistemas de latitudes bajas pero un aumento en la productividad en los sistemas de latitudes altas y cambios en las interacciones de los niveles tróficos (ICES 2011).

La figura siguiente muestra algunas posibles vías interactivas provocadas por cambios físicos y químicos que desencadena el aumento de gases de efecto invernadero de la atmósfera en las costas y océanos.



**Figura 2.** Interacciones entre la atmósfera, el océano y los organismos vivos. Los cambios en la temperatura atmosférica, precipitación, y vientos afectarían la estratificación, las corrientes de conducción, los afloramientos / hundimientos, el hielo marino y otros factores. Estos potencialmente afectan la producción en todos los niveles tróficos. (Traducido de; Brock et-al.2012)

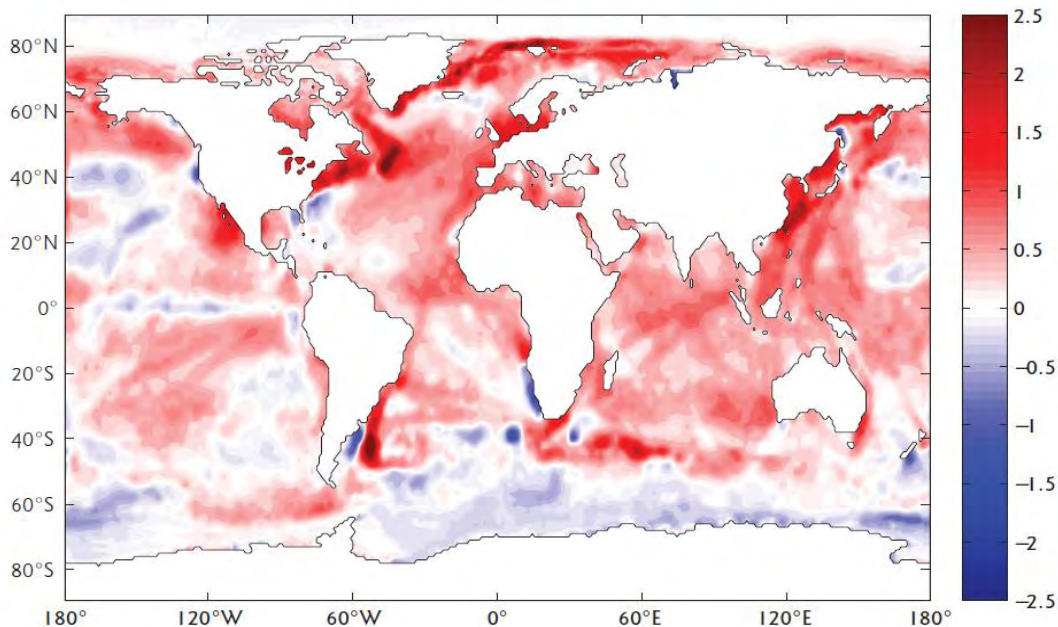
## Temperatura Superficial del Mar (TSM)

El IPCC (2007) reporta que la temperatura media de los océanos del mundo ha aumentado hasta profundidades de, al menos 3000 m desde 1961 y que el océano está absorbiendo más del 80% del calor añadido al sistema climático. Dicho calentamiento hace que el agua del mar se expanda, lo cual contribuye a elevar el nivel del mar. En el Océano tropical el incremento en la temperatura fue de 0,5 °C entre 1970 y el año 2004 (Webster P. et-al 2005) y en Centroamérica en el período 1992-2010 las anomalías observadas muestran incrementos de temperatura en la mayor parte del Caribe en las últimas dos décadas, de hasta 0.3°C al este de Nicaragua, y enfriamiento en Yucatán y el Golfo de México. Los valores de las anomalías de la TSM son consistentes con las tendencias lineales de aumento de la temperatura obtenidas para varios sitios del Caribe (0.0031°C/mes para Roatán, 0.0024°C/mes para el norte de Belice) con datos del radiómetro AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) por Hayes & Goreau (2008: Citado por Ballesteros et al. 2011).

Richardson K. et-al. (2009) reportan que desde el último informe del IPCC, las tendencias actualizadas de la temperatura superficial del océano muestran que el océano se ha calentado significativamente en los últimos años. Las estimaciones actuales indican que el calentamiento de los océanos es de aproximadamente 50% mayor a lo que se había reportado previamente por el IPCC (Figura 3).

Otros trabajos (Smith K., 2009) señalan que un aumento en el calentamiento de la superficie del océano tiene una influencia sobre la estratificación, la reducción de la mezcla vertical y esto puede afectar la disponibilidad de nutrientes para la producción de fitoplancton. Esta misma investigación sugiere que al variar la productividad primaria se afecta el flujo de carbono hacia las profundidades del mar de las cuales dependen las comunidades de aguas profundas por lo que el calentamiento superficial del océano plantea cuestiones importantes de como el cambio climático afecta el ciclo del carbono y con esto la función de los ecosistemas del océano profundo.

Escenarios climáticos futuros difieren bastante de las temperaturas actuales. Para el período 2030-2039 (escenarios de emisiones B1 y A2) muestran que el promedio mensual de la TSM aumenten en un grado centígrado en toda la superficie de las Zona Económica Exclusiva (ZEE) de Centroamérica pero que será más crítica en el Caribe de Nicaragua y Panamá generalizándose el nivel de temperatura medio (28 a 29°C); aunque parte de la costa de la Comarca Kuna Yala y de Bocas del Toro el nivel habrá aumentado en dos grados para los escenarios de emisiones A2 llegando a un nivel alto de exposición (29 a 30°C). Para el periodo 2090-2099 (escenario de emisiones A2) el nivel del promedio mensual de la TSM es de 30°C o más, siendo dominante en las ZEE de ambos países (BIOMARCC-USAID.2013).



**Figura 3.** Cambio en la temperatura superficial del mar en un período de 50 años (1959-2008) calculada ajustando una tendencia lineal (Tomado de: The Copenhagen Diagnosis.2009)

### Nivel medio 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, et-al. 1998). No obstante, los cambios en el nivel de mar manifiestan variaciones geográficas que dependen de factores 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).

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. 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 (IPCC.2007A). Otros autores (Domingues C., et-al. 2007) ha estimado en este mismo período incrementos de  $1.5 \pm 0.4 \text{ mm yr}^{-1}$ , lo que está dentro del rango manejado por el IPCC para ese período.

En análisis realizados de las tendencias de aumento del nivel medio del mar en el Caribe Centroamericano a partir de mareógrafos se observó un cambio de (-1.38 +/- 2.01) mm/año en Santo Tomás (Guatemala), (9.23 +/- 1.05) mm/año en Puerto Cortés (Honduras) y (3.13 +/- 2.12) mm/año en Puerto Castilla (Honduras). El valor obtenido en Puerto Cortés (9.23 mm/año) se considera excesivamente alto y resulta inconsistente con los valores de

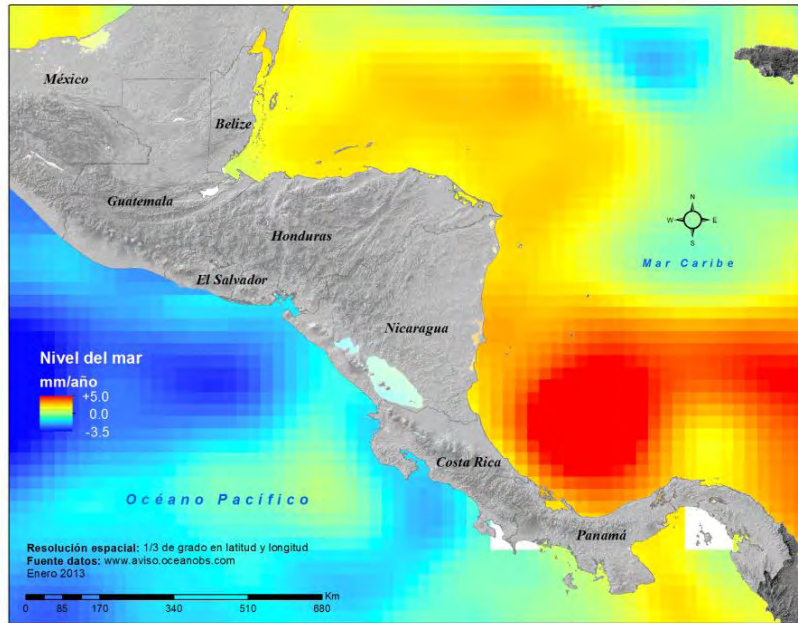
las estaciones mareográficas cercanas (Ballestero et al. 2011). Más al sur la tendencia lineal de cambio del NMM evaluada para el intervalo 1948-1968 en Limón-Costa Rica refleja un aumento de 1.68 mm/año mientras que utilizando datos del mareógrafo de San Cristóbal, en Panamá, el cual tiene una de las series de tiempo más extensas de la región, desde 1907 hasta 2010 muestra tendencias lineales del NMM en esta estación, evaluada entre 1907 y 1978 de 1.44 mm/año (Ballestero & Salazar 2012).

Así mismo, evaluaciones realizadas con datos provenientes de satélites altimétricos (<http://www.aviso.oceanobs.com>) muestran que toda la parte costera del oeste del Caribe centroamericano, a lo largo de la barrera de corales desde Yucatán hasta las Islas de la Bahía, muestra una tendencia de aumento del nivel del mar con un máximo en el extremo NE de la Península de Yucatán, mientras que hacia el este se observa una disminución. Los valores obtenidos en las estaciones evaluadas son de 1.79 mm/año en Santo Tomás (Guatemala), 1.76 mm/año en Puerto Cortés (Honduras) y 4.40 mm/año en Puerto Castilla (Honduras) de aumento en el nivel del mar (Ballestero et al. 2011). En el Caribe Sur (Nicaragua a Panamá) los datos mareográficos y altimétricos disponibles muestran consistentemente una tendencia positiva de aumento del nivel del mar. Adicionalmente, la serie de tiempo del mareógrafo de Cristóbal (Panamá), iniciada en 1907, tiene una longitud adecuada para considerar la tendencia de aumento de 1.44 mm/año registrada por esa estación como un resultado robusto (Ballestero D., & Salazar P., 2012).

Evaluaciones realizadas para cuatro puntos costeros del Caribe Sur en Costa Rica (Barra Colorado, Limón, Cahuita) y Panamá (San Cristóbal) utilizando estas mismas series de tiempo altimétricas muestran una tendencia de aumento  $\sim 2$  mm/año con un mínimo de 1.87 mm/año en Barra del Colorado y un máximo de 2.3 mm/año en San Cristóbal (Ballestero & Salazar 2012).

Esta tendencia bipolar de aumento a lo largo del flanco oeste y disminución a lo largo del flanco este se observa en todo el Mar Caribe. Ballestero & Salazar (2012) señalan que las series de tiempo de ANM en las estaciones del Caribe muestran poca coherencia con la evolución del ENOS y fluctuaciones de menor amplitud que en las estaciones de la costa del Pacífico centroamericano, donde tanto datos altimétricos como mareográficos muestran una notable variabilidad interanual asociada a los ciclos de El Niño-La Niña, con variaciones del nivel del mar de hasta 30 mm en un año, los datos de la costa Caribe analizados en el período 1992-2012 no revelan la presencia del fenómeno climático ENOS.

En síntesis se concluye que para el período 1992-2012 ha existido una tendencia positiva de aumento del nivel del mar, en la parte de la zona costera del Caribe, cercana a la tendencia global de aumento del nivel del mar de 3.3 mm/año. Así mismo, las series de tiempo revelan claramente el ciclo estacional anual, al igual que los datos mareográficos, pero no muestran variabilidad interanual (Ballestero et al. 2011).



**Figura 4.** Tendencia del aumento del nivel medio del mar entre los años 1992-2012 en el Caribe y Pacífico Centroamericano (BIOMARCC-USAID.2013)

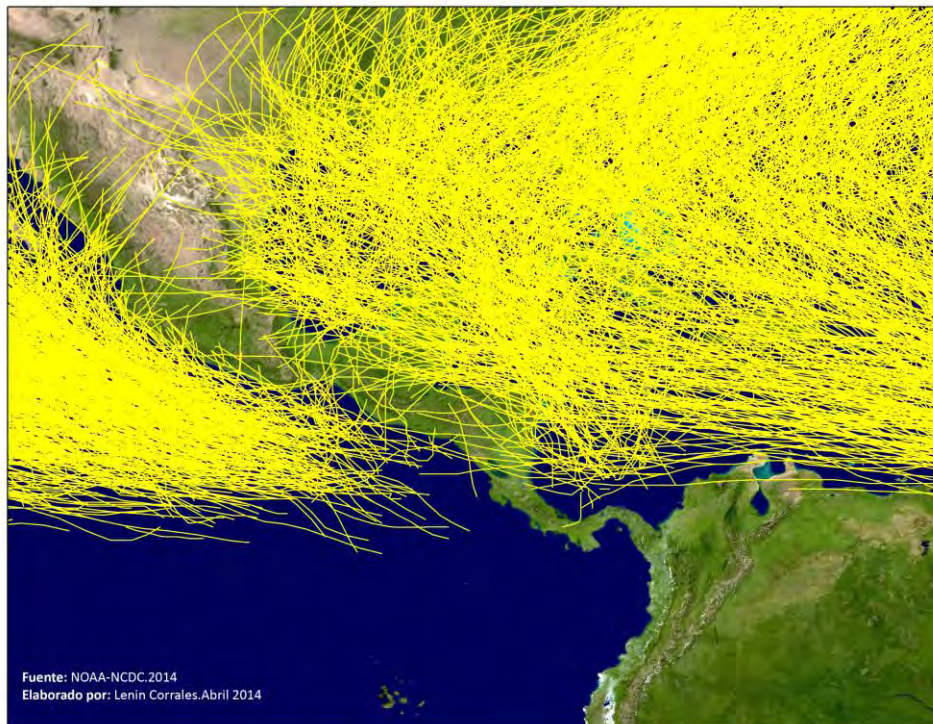
## Eventos extremos (Ciclones tropicales)

Centroamérica es una región de gran actividad ciclónica (Figura 5), donde anualmente los ciclones ejercen acción indirecta sobre ambas costas. 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. Según el último informe de la Organización Meteorológica Mundial (OMM.2013) los climatólogos consideran que aún no es posible atribuir fenómenos extremos individuales al cambio climático, sus conclusiones apuntan cada vez más a que muchos fenómenos recientes habrían ocurrido de forma diferente o no habrían ocurrido en absoluto si no existiera el cambio climático.

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 marina y costera de la región. Por ahora la OMM estima que no existe una tendencia definida en cuanto a los ciclones tropicales y las tormentas extra tropicales a nivel mundial. Será necesario obtener conjuntos de datos más completos para realizar análisis sólidos de las tendencias registradas en la frecuencia y la intensidad de esos peligros (OMM.2013).

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.



**Figura 5.** Historia y trayectoria de los Ciclones tropicales en Mesoamérica entre 1851 y el año 2013. (Elaboración propia a partir de datos de NOAA, 2014)

### Reducción de afloramientos o surgencias

El cambio climático puede alterar los patrones del viento y la circulación del agua en el ambiente oceánico. Tales cambios pueden influir en el movimiento vertical de las aguas del océano (por ejemplo, el afloramiento y hundimiento), aumentando o disminuyendo la disponibilidad de nutrientes esenciales y oxígeno para los organismos marinos. Los cambios en los patrones de circulación de los océanos también pueden causar cambios sustanciales en el océano y las

temperaturas regionales de la tierra y la distribución geográfica de las especies marinas Kennedy V., et-al (2002).

Bakun A. (1990) desarrollo la hipótesis de que uno de los fenómenos por los cuáles se ha estado en alerta es la probabilidad de que al aumentar el efecto invernadero se podría intensificar la fuerza del viento que corre paralelo a la costa en la superficie del océano, conduciendo a una aceleración en los afloramientos costeros.

Este mismo autor señala que hay evidencias que sugieren que en las principales regiones del mundo donde hay surgencia ha ido creciendo la intensidad de la surgencia y que eso podría explicar porque en el norte de California los veranos presentan más niebla y los días son más frescos. Concluye que las repercusiones sobre el ecosistema marino son inciertas pero potencialmente dramáticas.

Snyder M., et-al (2003) y Diffenbaugh N. (2004) demostraron que en la surgencia de la corriente de California había cambios sustanciales en la intensidad del

afloramiento al incrementarse las concentraciones de CO<sub>2</sub> por cambios en la intensidad de los vientos. Este fenómeno produciría un enriquecimiento mayor de las aguas lo que produciría concentración de alimentos en grandes cantidades para sostener poblaciones y retenerlas en la zona por la disponibilidad de estos, sin embargo, la concentración de alimento podría disminuir por el aumento en el transporte de las aguas superficiales. Otro efecto que podría ocurrir es el desarrollo de niebla en la zona costera lo que produciría disminución de las temperaturas en verano y aumento de humedad en la tierra.

## Acidificación del océano

La vida marina depende de la situación biogeoquímica del océano y uno de los factores determinantes es el equilibrio químico de CO<sub>2</sub> que a la vez determina el pH de las aguas oceánicas (IPCC. 2007).

La acidificación del océano es una consecuencia directa de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, sus consecuencias en los océanos del mundo están surgiendo ahora (Turley, C. & Scholes, M. 2009). Cuando el CO<sub>2</sub> se disuelve en el agua de mar, se forma ácido carbónico. Si la acidificación de los océanos continúa, disminuye tanto el pH del océano, como la concentración de iones de carbonato, componente básico de la construcción de conchas y esqueletos de muchos organismos marinos (Orr J., et-al. 2009).

Desde el comienzo de la Revolución Industrial, la acidez del océano se ha incrementado en un 30%. Este cambio es de aproximadamente 100 veces más rápido que cualquier cambio en la acidez experimentado durante los últimos millones de años (Orr J., et-al. 2009).

La incorporación del carbono antropogénico a partir de 1750 provocó una mayor acidez oceánica, con un promedio de disminución superficial de pH de 0,1 unidades. Las observaciones directas de pH en estaciones disponibles llevadas a cabo durante los últimos 20 años muestran tendencias de disminución a una tasa de aproximadamente 0,02 unidades de pH por decenio. Proyecciones basadas en los escenarios climáticos indican reducciones en el pH de entre 0,14 y 0,35 unidades en el siglo XXI (dependiendo del escenario), aumentando la actual disminución de 0,1 unidades desde los tiempos preindustriales (IPCC.2007A).

La evidencia científica indica que la acidificación del océano es una seria amenaza para numerosos organismos y podría tener implicaciones en las redes alimentarias y los ecosistemas marino-costeros. Por ejemplo, la erosión es probable que superará al crecimiento de los arrecifes tropicales de coral si se llega a valores de 450-480 ppm de CO<sub>2</sub>,

existiendo ya informes de una disminución de 19% en el crecimiento de los corales en la Gran Barrera Australiana (Turley, C. & Scholes, M. 2009), así mismo es probable que la acidificación de los océanos dañe la composición a base de aragonita de los caparzones de una gama amplia de plancton y organismos marinos bentónicos de poca profundidad (IPCC.2007B).

La acidificación se espera que reduzca la calcificación e incremente la disolución de arrecifes. Se reporta que los arrecifes de coral en el Pacífico tropical oriental (PTO) están pobremente desarrollados y sujetos a procesos de rápida bioerosión. Los procesos de mezcla de aguas frías debido a las surgencias, las altas concentraciones de

CO<sub>2</sub> en las aguas y altas concentraciones de nutrientes en las capas superficiales producen una región donde naturalmente el pH de las aguas es bajo. En análisis realizados en todo el PTO se encontró bajas tasas de saturación de carbonatos y bajas tasas de compuestos de cementación lo que puede ser un factor de las altas tasas de bioerosión a pesar de que ellos habitan en aguas ricas en nutrientes su desarrollo se ve limitado por la cementación y los estímulos de bioerosión, lo que representa en el mundo real como la interface geológica-biológica de los ecosistemas de arrecifes de coral pueden cambiar en un mundo con altas concentraciones de CO<sub>2</sub> (Manzello D., et.al.2007).



### 3. ¿Qué conocemos acerca de los impactos sobre la Biodiversidad Marina?

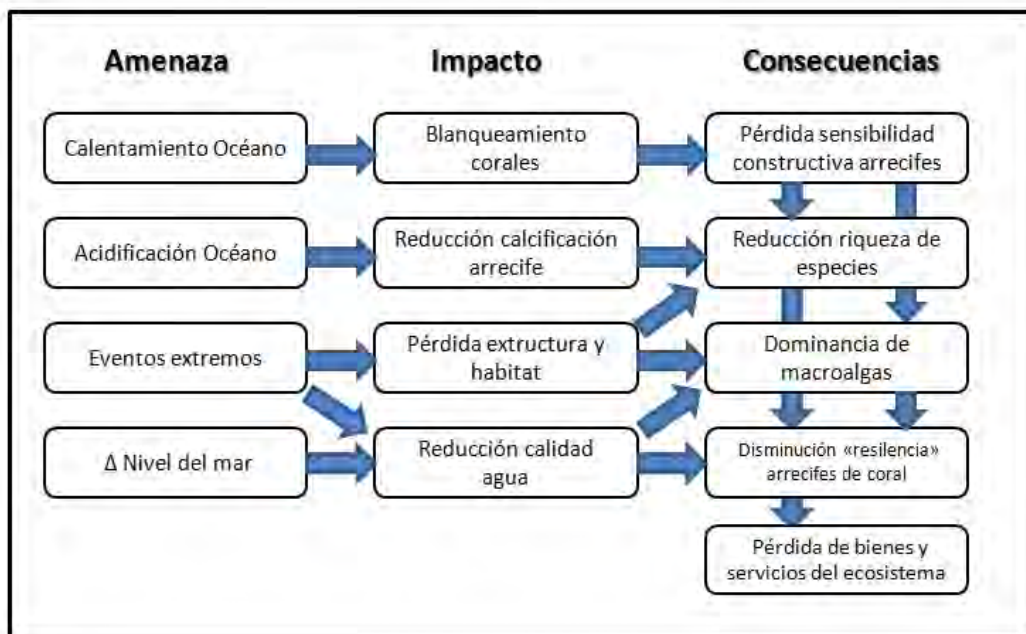
#### Arrecifes de coral



Los arrecifes de coral son ecosistemas vitales, que proporcionan protección a las costas, son fuente de ingresos y alimentación para millones de personas que habitan en las costas del mundo. Los arrecifes de coral están formados por cientos de miles de pólipos que viven en simbiosis con microalgas (zooxantelas) en su cuerpo y pueden encontrarse en regiones calientes, poco profundas, aguas tropicales y sub-tropicales claras y bajas en

nutrientes, con temperaturas óptimas de 25 a 29 ° C, aunque existen en rangos de 18 ° C (Florida) a 33 ° C (Golfo Pérsico). Son increíblemente diversos que cubriendo solamente 0,2% del fondo del océano contienen un 25% de las especies conocidas del ambiente marino (Grimsditch and Salm 2006).

El cambio climático sugiere una serie de amenazas sobre la permanencia de estos sistemas entre los que se presentan calentamiento y acidificación del océano, eventos extremos y cambios en el nivel del mar (Figura 6 y cuadro 2);



**Figura 6.** Diagrama de flujo de conexiones funcionales entre las amenazas del cambio climático, los impactos biológicos y ecológicos y las consecuencias posteriores para la función de los ecosistemas (Adaptado de: Anthony et-al 2009).

## Cuadro 2: Amenazas, efectos y consecuencias del cambio climático en hábitat de arrecifes de coral

Amenaza	Efectos y consecuencias
Calentamiento del océano	Sobre la base de la fisiología actual de los corales, un aumento de 2 °C en la temperatura las zonas tropicales dará lugar a blanqueamiento en eventos anuales y con ello mortalidad a gran escala, dando como consecuencia una pérdida en la sensibilidad constructiva (Anthony et-al 2009).
Acidificación océano	Cambios en la acidificación del océano producto del aumento en la concentración de CO <sub>2</sub> atmosférico reduciría la calcificación en los arrecifes principalmente cuando los valores de CO <sub>2</sub> superen los 550 ppm, lo que comprometería la habilidad para construir y mantener los arrecifes (Anthony et-al 2009).
Intensificación de eventos extremos	Cambios en la intensidad y frecuencia de los eventos extremos (Webster P. et-al. 2005), sumado a un mayor aporte de sedimentos proveniente del continente y la elevación del nivel del mar es probable que actúen de forma sinérgica con la temperatura y la acidificación para reducir la viabilidad de los corales (Anthony et-al 2009).
Cambios en el nivel del mar	Las posibilidades de adaptación dependerían de si pueden ampliar su distribución pero con el calentamiento del agua y la disminución en las concentraciones de carbonato por debajo de los límites críticos reduciría la viabilidad en el largo plazo (Anthony et-al 2009).

## Aves de ambientes marino-costeras



El cambio climático principalmente debido a cambios en los patrones de precipitación, temperatura del aire, temperatura superficial del mar y cambios en el nivel del mar, podría eventualmente provocar afectaciones en las aves marino-costeras tales como (Chambers et-al 2009);

- Cambios en la temperatura del aire podrían generar cambios en la distribución
- Hábitat de anidamiento y alimentación se pueden perder o alterar
- La anidación puede ocurrir antes de lo habitual con las consecuencias en la disponibilidad de alimentos
- Cambios probables en la corrientes podrían tener un impacto sobre la distribución, migración y alimentación
- El éxito reproductivo puede variar ya sea aumentando o reduciéndose
- El éxito en la crianza de ciertas poblaciones dependerá de la temperatura superficial del mar

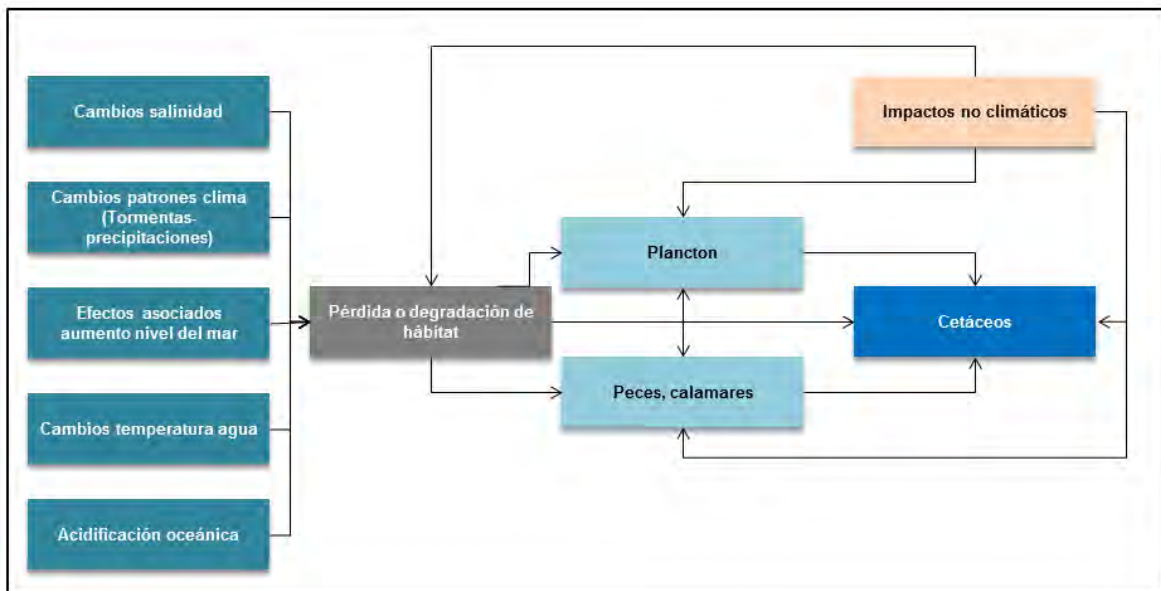
## Cetáceos



Los impactos potenciales del cambio climático sobre los mamíferos marinos pueden ser directos, como los efectos en la reducción del hielo marino y el aumento de los niveles del mar que provoquen cambios en los hábitats o cambios en los rangos específicos de temperaturas del agua que son utilizados para desplazarse o sobrevivir físicamente (Learmonth J., et-al 2006).

Los efectos indirectos del cambio climático incluyen los cambios en la disponibilidad de presas que afectan la distribución, abundancia, patrones migración, estructura de la comunidad y la susceptibilidad a las enfermedades y contaminantes. En última instancia, estos tendrán un impacto en el éxito reproductivo y la supervivencia de los mamíferos marinos y, por lo tanto,

tendrán consecuencias para las poblaciones. Las especies de mamíferos marinos, que han restringido las distribuciones geográficas con poca o ninguna oportunidad para la expansión del rango en respuesta al cambio climático, pueden ser particularmente vulnerables a los efectos del cambio climático (Learmonth J., et-al 2006).



**Figura 7:** Formas en el que el cambio climático puede afectar a los cetáceos (Adaptado de UNEP-CMS 2006)

## Costas rocosas



Las costas rocosas son hábitats característicos donde los sedimentos se han eliminado por la acción de las olas o como resultado de las corrientes que han dejado el lecho de roca expuesta. Estas zonas rocosas pueden comprender complejos mosaicos de hábitats de diverso aspecto (vertical, horizontal, pozas etc.) dependiendo del grado de exposición a las olas, las corrientes, luz solar y el aire. La influencia de esto último es particularmente evidente en la zonificación tanto horizontal como vertical promovida por la amplitud de la marea.

Todas las especies presentes en este tipo de hábitat tienen límites de tolerancia de

temperatura y su distribución cambia en respuesta a las variaciones climáticas. Las costas rocosas no son continuas alrededor de la costa, y no todos los componentes del mosaico de hábitats están presentes en todas las costas rocosas.

Las amenazas del cambio climático identificadas para las costas rocosas son de acuerdo a Hiscock K. et-al (2001); los cambios en la temperatura ambiental; los cambios en la precipitación y salinidad costera; los cambios en las corrientes y estrés de vientos; los cambios en la intensidad de los ciclones; el aumento en el nivel medio del mar; los cambios en la radiación UV y el cambio en la química del agua marina y su acidez (pH)

Las anteriores amenazas podrían producir impactos tales como; cambios en la distribución, abundancia de poblaciones y en la composición de las comunidades; alteración de la capacidad reproductiva de los individuos y aumento de la frecuencia de muerte debida al aumento del número de días de con calor extremo; y los cambios en el nivel del mar y exposición al oleaje (Hiscock K. et-al 2001).

## Estuarios y Lagunas costeras

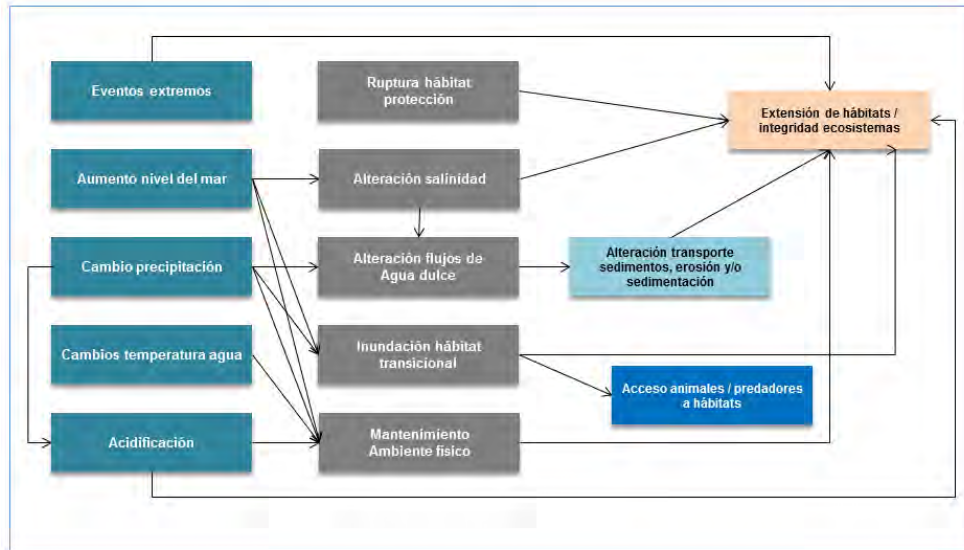


Estos sistemas se caracterizan por estar ubicados en regiones semicerradas, influenciados por las mareas, en donde el agua de mar se diluye por acción de los ríos y donde la productividad es alta, lo que genera gran cantidad de alimento disponible, a la vez que favorece la permanencia y visita de gran cantidad de organismos. Los tres parámetros que desempeñan un papel importante en los procesos físicos, químicos y biológicos son la salinidad, oxígeno disuelto y la temperatura (Gómez E. 2006), por lo que son vulnerables a cuatro aspectos que pueden variar y cambiar con el cambio climático (Sheaves M., et-al 2007);

- las alteraciones en la magnitud, permanencia y frecuencia de las precipitaciones,
- el cambio en el nivel del mar,

- los cambios en la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos, y
- cambios importantes en la temperatura del agua

Estos impactos probables del cambio climático en estuarios y lagunas costeras (Figura 8) a partir de la variación en los patrones de precipitaciones probablemente influyen enormemente la ecología de estuarios porque el flujo de agua dulce es generalmente la principal fuente de variabilidad física en los estuarios. Así mismo, esta variación en la afluencia de agua dulce determina los patrones de inundación, la llegada de nutrientes, el cambio en los perfiles y gradientes de salinidad y los cambios en la temperatura superficial del agua. Estos cambios tienen implicaciones sobre las comunidades, los ecosistemas, la distribución, abundancia y diversidad de plantas y animales, la migración, la función como zonas de cría, cambios en los hábitats y la disponibilidad de hábitat, la productividad primaria, los ciclos de nutrientes, las redes alimentarias, la salud general de los estuarios, y la resiliencia ante los impactos humanos (Sheaves M., et-al 2007).



**Figura 8.** Principales impactos probables del cambio climático en estuarios y lagunas costeras (Adaptado de: Sheaves M., et-al 2007)

## Fondos lodosos



Los sedimentos tienden a permanecer juntos por la forma y el pequeño tamaño de las partículas, la presencia de diatomeas y las grandes cantidades de agua. Son ambientes bajos en oxígeno. El aumento de la sedimentación por el aumento de las precipitaciones y la escorrentía superficial pueden disminuir aún más los niveles de oxígeno oponiéndose a la sobrevivencia de algunas especies. La redistribución de los sedimentos pueden cambiar la composición de los sustratos y en presencia de una rápida sedimentación se pueden perder especies que habitan en el fondo (Horton S., and McKenzie K. 2009).

Un aumento en la precipitación promedio o la entrada de agua dulce provocada por fenómenos extremos puede reducir la salinidad rápidamente. Además, la forma en que circula infiltrándose en el sedimento puede causar gran estrés para los organismos que dependen de ciertas concentraciones de salinidad. Así mismo, la temperatura también afecta la naturaleza física de estos ambientes. En condiciones extremas, las altas temperaturas pueden afectar a los organismos que viven en el barro al interrumpir la reproducción, alimentación y las actividades metabólicas. Las altas temperaturas también pueden desecar la capa de lodo superior y contribuir a la erosión por el viento. Si también hay un aumento en el viento, entonces el efecto combinado no puede permitir una recuperación de las especies y de forma irreversible alterar las características físicas del hábitat (Horton S., and McKenzie K. 2009).

**Cuadro 3:** Amenazas, efectos y consecuencias del cambio climático en hábitat de zonas lodosas

Amenaza	Efecto	Consecuencia
$\Delta$ Temperatura	Incremento temperatura superficial del mar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios en la composición de especies</li> <li>• Condiciones favorables para especies invasoras</li> </ul>
$\Delta$ Precipitación	Incremento de lluvias	• Arrastre de detritos
	Eventos de precipitación extremos	• Rápida dilución de minerales
$\Delta$ Precipitación	Aumento y redistribución de sedimentos	• Estrés para los organismos bentónicos, especialmente invertebrados
	Aumento de la acción del oleaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alteración de las ondas pequeñas y perturbación a los organismos en sus madrigueras</li> <li>• Arrastre de detritos</li> </ul>
$\Delta$ Frecuencia e intensidad de tormentas	Aumento sedimentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificultad para los organismo para obtener oxígeno</li> <li>• Dificultad para la suspensión y para la obtención de nutrientes por parte de los filtradores</li> </ul>
	Pleamar se desplaza tierra adentro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de áreas de alimentación de aves</li> <li>• Especies sésiles disminuyen</li> </ul>
Aumento nivel del mar	Redistribución de sedimentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de organismos bentónicos</li> <li>• Pérdida de marismas continentales</li> </ul>

**Fuente:** Basado en Horton S., and McKenzie K. 2009

## Manglares



Los manglares y hábitats vecinos como las marismas y tierras albinas están habitados por comunidades de plantas con adaptaciones especiales tanto fisiológicas como morfológicas que les permiten crecer en la zona intermareal del medio marino. Los manglares se componen principalmente de especies de árboles leñosos, las marismas se componen de breves especies herbáceas y leñosas y las

tierras albinas están incrustadas de películas de las cianobacterias y otros microorganismos tolerantes a la desecación. Las posiciones de estas comunidades en la zona intermareal las hacen especialmente sensibles al aumento del nivel del mar y otros factores que influyen en la hidrología de la zona intermareal (McLeod and Salm 2006; Lovelock C. and Ellison J. 2007).

Entre la mayoría de los hábitats marinos en riesgo al cambio climático se encuentran los manglares, que son especialmente vulnerables a un aumento del nivel del mar, pero la buena noticia es que no todas las costas con bosques de manglares se prevé que experimenten un aumento en el nivel relativo del mar. Por

el contrario, los manglares con amplio suministro de sedimentos y / o espacio para moverse tierra adentro podrían soportar mejor las amenazas del cambio climático, además, de que estos han demostrado diferentes tolerancia a los cambios en el nivel del mar, salinidad, y los efectos de las tormentas (McLeod and Salm 2006). La posición intermareal de

los manglares, marismas y las tierras albinas los hace particularmente vulnerables a los cambios en el nivel del mar, aunque otros factores del cambio climático también ejercen una fuerte influencia en las comunidades de estos humedales (cuadro 4) (Lovelock C. and Ellison J. 2007).

**Cuadro 4.** Efectos previstos provocados por factores del cambio climático en manglares

Cambio climático	Procesos afectados	Impacto probable
Alteración de los patrones de circulación oceánica	- Dispersión - Flujo genético	- Cambios en la estructura de la comunidad
Incremento en temperatura aire y mar	- Respiración - Fotosíntesis - Productividad	- Cambios en productividad
Incremento CO <sub>2</sub>	- Fotosíntesis - Respiración - Distribución biomasa - Productividad	- Incremento de la productividad dependiendo de otros factores (salinidad, humedad, nutrientes)
Radiación UV	- Morfología - Fotosíntesis - Productividad	- Pocos efectos mayores
Aumento nivel del mar	- Cobertura arbórea - Productividad - Reclutamiento	- Migración hacia tierra adentro si hay tierras disponibles - Pérdida de marismas y tierras albinas
Tormentas extremas	- Crecimiento arbóreo - Reducción reclutamiento - Reducción retención de sedimentos - Hundimiento	- Reducción cobertura arbórea
Incremento oleaje y vientos	- Sedimentación - Reclutamiento	- Cambios en la cobertura arbórea según la costa si hay acreción o erosión
Reducción de lluvias	- Reducción en aporte de sedimentos - Reducción en acuíferos costeros - Salinización	- Pérdida de la elevación de la superficie - Invasión de sal hacia humedales de agua dulce - Reducción de la productividad y biodiversidad - Pérdida cobertura arbórea
Reducción de humedad	- Fotosíntesis - Productividad	- Reducción de la productividad - Cambio composición de especies - Pérdida de diversidad
Aumento de precipitación	- Incremento sedimentación - Incremento acuíferos costeros - Pérdida hábitats salinos - Productividad	- Se mantiene la elevación relativa al nivel del mar - Incremento de diversidad - Incremento de la productividad - Incremento del reclutamiento

**Fuente:** Adaptado McLeod and Salm 2006; Lovelock C. and Ellison J. 2007; Lovelock et-al 2009

## Pastos marinos



La mayor vulnerabilidad de los pastos marinos al cambio climático es la pérdida de hábitat en la zona costera, en particular cerca de la desembocadura de los ríos y en zonas poco profundas (cuadro 5). El mayor impacto se espera que sea resultado del aumento de la temperatura, inicialmente durante los eventos extremos y eventualmente de manera crónica. Además, la reducción de la luz, la deposición y resuspensión de sedimentos después de una tormenta severa sumado a los eventos de

lluvia hará que aumente la pérdida de pastos marinos (Waycott M., et-al.2007; Connolly.2009).

**Cuadro 5.** Mayores impactos probables del cambio climático sobre los pastos marinos

Impacto	Dirección cambio	Vulnerabilidad
Temperatura	Pérdida y cambios en la comunidad	Aguas someras intermareales y poco profundas submareales
Aumento nivel del mar	Pérdida	Todos los hábitats costeros
Disturbios por ciclones y tormentas	Pérdidas y cambios en la comunidad	Aguas poco profundas (<5 metros)
Plumas de inundaciones y precipitaciones	Pérdidas y cambios en la comunidad	Todos los hábitats poco profundos
Luz y radiación Ultravioleta	Potencialmente pequeño pero hay un gran desconocimiento	Todos los hábitats (luz) Poco profundos e intermareales (UV)
CO <sub>2</sub> y pH	Impacto desconocido, algunas teorías de pérdida y otras de aumento	Todos los hábitats poco profundos
Circulación oceánica	Algunas teorías de pérdida y otras de aumento	Todos los hábitats

**Fuente:** Adaptado de Waycott M., et-al (2007) y Connolly (2009)

## Peces pelágicos y tiburones



El cambio climático puede afectar a las poblaciones y comunidades de peces a través de una serie de impactos en las fases ya sea larval, juvenil o adulta. Los patrones de dispersión y la sobrevivencia de las larvas de peces juegan un papel clave en la dinámica de las poblaciones, la conectividad ecológica y las poblaciones adultas. Estos patrones y dinámicas son influenciadas por los cambios en la

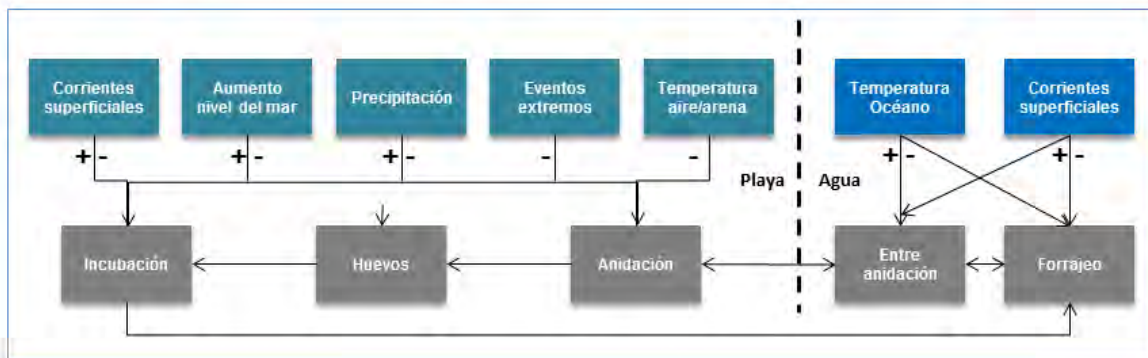
temperatura del agua, los cambios en la química del océano, cambios en la circulación oceánica, cambios en la penetración de la luz y la radiación ultravioleta, el aumento en el nivel del mar, los disturbios físicos producidos por las tormentas tropicales, la precipitación y las plumas de sedimentos de los ríos (Munday P., et-al 2007; Chin A., and Kyne P. 2007).

## Tortugas marinas



Las tortugas marinas ocupan una gran variedad de hábitats diferentes a lo largo de su ciclo de vida (Figura 9), incluyendo playas de arena en regiones tropicales y templadas, sistemas oceánicos frontales y giros oceánicos, zonas neríticas, arrecifes de coral, praderas de pastos marinos y otras zonas poco profundas de forrajeo. Durante su desarrollo pasan de la tierra cuando nacen a las aguas costeras y oceánicas y esto hace que diferentes variables climáticas intervengan en su comportamiento y supervivencia (Pihen E., et-al 2006; Hawkes, L., et-al 2009)

Las especies marinas de reptiles han persistido a través de varios cambios del clima a gran escala y cambios en el nivel del mar similares en magnitud al calentamiento previstas para los próximos 50 años. Existe una alta probabilidad de que la exposición a los cambios en la temperatura superficial del mar y el aire afecten las tortugas marinas en dos grandes áreas, la reproducción y la ecología del forrajeo (Hamann M., et.al 2007).



**Figura 9.** Fase la cría a la anidación de las tortugas marinas. Las flechas grises representan las variables climáticas y los potenciales efectos directos, + o - indican la dirección probable de efecto (Adaptado de Hawkes, L. et-al 2009)

Las evidencias acumuladas hasta ahora indican que en el futuro las acciones de investigación deben centrarse en: (1) los efectos del cambio climático en los hábitats fundamentales de los cuales dependen las tortugas, (2) los factores que influyen en la selección de sitios de anidación, (3) las consecuencias de la alteración en la proporción de sexos, y (4) el efecto del cambio climático sobre las tortugas en el océano, por ejemplo cambios en los rangos de distribución y la dieta (Hawkes, L., et-al.2009).

## 4. Consecuencias socioeconómicas en el medio marino

### Impactos sobre las pesquerías



La pesca en la región Centroamericana representa una importante actividad económica y social. Entre los años 2000 y 2010, la pesca y la acuicultura de la región sumaron en promedio un volumen de producción de 422.210 toneladas (t)/año avaluadas en USD 2.039 millones/año. La generación de empleo en toda la cadena de producción asciende a 234.788 puestos de trabajo: 51% en la fase de captura (pesca marina y continental) y 49% en procesamiento y comercialización. El consumo per-cápita de productos pesqueros y acuícolas entre el 2000 y 2010 fue de 9,1 kg/persona/año y la población potencialmente consumidora es de 33.312.510 personas (Stella C. 2013).

El cambio climático puede afectar a la productividad o la distribución de los recursos pesqueros de las aguas, tanto marinas y continentales de la región centroamericana en una variedad de formas:

- Los cambios en la temperatura del agua y precipitación afectan la dinámica de las corrientes marinas, el flujo de los ríos y la zona

cubierta por humedales. Esto tendrá efectos sobre la estructura y función de los ecosistemas y en la distribución y producción de los recursos pesqueros;

- el probable aumento de la incidencia de eventos extremos como inundaciones, sequías y tormentas afectará la seguridad y eficiencia de las operaciones de pesca y aumentará el daño y la interrupción a los hogares, los servicios y las infraestructuras costeras y ribereñas;
- el aumento del nivel del mar y otros cambios ambientales a gran escala tendrá efectos impredecibles sobre los entornos y medios de vida costeros y humedales; y
- los vínculos complejos entre el cambio climático, la pesca y otros sectores tendrán efectos indirectos, incluida la pesca ya que está afectada por el cambio de la demanda de agua de la agricultura, el cambio de los precios y el acceso a los alimentos y el desvío de recursos gubernamentales y financieras internacionales fuera de la gestión de la pesca y la acuicultura en la ayuda de emergencia después de los eventos climáticos extremos (FAO.2007).

Las comunidades costeras que viven de la pesca se enfrentan a una doble exposición

ya que se enfrentan de la reducción de los recursos pesqueros y el aumento del riesgo de inundaciones costeras y marejadas. Los impactos del cambio climático son una carga adicional a los otros conductores de pobreza como la disminución de las poblaciones de peces, el VIH / SIDA, la falta de ahorro, seguros y medios de vida alternativos (FAO.2007).

Los efectos sobre las áreas protegidas marinas podrían venir en dos sentidos, el primero provocado por cambios en las actividades permitidas de pesca dentro de las APM al reducirse los stocks o como amenaza hacia aquellas APM que no permiten la pesca pero por los cambios en los patrones de distribución de las especies están se vean presionadas por la pesca furtiva.

## Impactos en turismo



La llegada de turistas a los países centroamericanos se incremento rápidamente entre 1995 y 2008 —10% tasa anual—, por lo tanto, el número de visitantes creció de 2.4 millones en 1995 a 8.3 millones en 2008 siendo los Estados Unidos el país que provee el mayor número de turistas a la subregión (30% en 2008). El turismo intrarregional ha crecido mucho también, y representó 42,4% del total de la llegada de turistas a Centroamérica en 2008. La tercera fuente más relevante es Europa (9,3% del turismo total en 2008), aunque su peso ha disminuido en los últimos años (en 1995 alcanzaba 14,5%). En Centroamérica el desarrollo del turismo ha sido desigual. En 2008 Costa Rica y Guatemala recibían el número más grande de visitantes, 2.1 millones y 1.5 millones, respectivamente, seguidos por El Salvador, Panamá, Honduras, Nicaragua y Belice (CEPAL.2010).

El turismo de la región depende en gran medida de la atracción de sus recursos naturales, principalmente en las costas o cerca de ellas. Sin embargo, la rica biodiversidad de los países de Centroamérica (bosques, arrecifes de coral, playas atractivas, entre otras), está bajo una seria amenaza debido a los efectos del cambio climático que ya se empiezan a sentir. Dicha vulnerabilidad es el resultado no sólo de la ubicación geográfica de la subregión sino también del grado de degradación de los recursos naturales de los países, especialmente de la acelerada deforestación y la contaminación de las aguas. Así mismo los huracanes se están volviendo más intensos, al igual que las inundaciones, las sequías, el nivel del mar se está elevando principalmente en el Caribe y los escenarios futuros presagian una región donde las temperaturas podrían aumentar hasta en 4°C en algunos centros turísticos (CEPAL.2010).

Dada la íntima relación que guarda el turismo con el medio ambiente y con el clima, se considera que, al igual que otras actividades económicas, se trata de un sector económico muy ligado a factores climáticos. Las manifestaciones regionales del cambio climático repercutirán decisivamente en los destinos turísticos y

los turistas, lo cual obligará a todos al sector a adaptarse. A la vez, no debe pasarse por alto la contribución del sector turístico al cambio climático mediante emisiones de gases de efecto invernadero generadas fundamentalmente por el transporte y el alojamiento de turistas (WTO, UNEP.2008).

El cambio climático de acuerdo a WTO, UNEP (2008) afectará a los destinos turísticos, su competitividad y su sostenibilidad en cuatro ámbitos generales:

**“Repercusión climática directa:** el clima es un recurso fundamental del turismo en la medida en que constituye uno de los factores que determinan si un determinado lugar es adecuado para distintas actividades turísticas. Así pues, las modificaciones en la duración y la calidad de las estaciones turísticas determinadas por el clima (en el caso, por ejemplo, del turismo de sol y playa o de las vacaciones centradas en los deportes de invierno) podrían incidir decisivamente en las relaciones de competencia entre destinos y, por consiguiente, en la rentabilidad de las empresas turísticas.

**Repercusión indirecta de los cambios ambientales:** como las condiciones ambientales son un recurso esencial del turismo, una amplia gama de cambios ambientales provocados por el clima tendrán efectos de gran calado en el turismo, tanto en los destinos como a escala regional. Las variaciones en la disponibilidad de agua, la pérdida de

biodiversidad, la degradación de la estética paisajística, las alteraciones en la producción agrícola (en el caso, por ejemplo, del turismo vinícola), el aumento de los peligros naturales, la erosión e inundación de las zonas costeras, los daños de infraestructura y la mayor incidencia de las enfermedades transmitidas por vectores serán en distintos grados factores determinantes del turismo.

**Repercusión de las políticas de mitigación en la movilidad turística:** es probable que las políticas nacionales o internacionales de mitigación, es decir, las que tienen por objeto reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, repercutan en las corrientes turísticas en la medida en que provoquen un aumento de los costos del transporte e incluso susciten actitudes ambientales que induzcan a los turistas a modificar sus pautas de viaje (eligiendo otro medio de transporte u otro destino, por ejemplo).

**Repercusión indirecta de los cambios sociales:** se considera que el cambio climático amenaza al futuro crecimiento económico y a la estabilidad política de algunas naciones. Toda reducción del PIB mundial ocasionada por el cambio climático provocaría una disminución de los ingresos discretos de que disponen los consumidores de turismo, lo cual tendría repercusiones negativas en las previsiones del futuro crecimiento turístico” (WTO, UNEP.2008).

## 5. Recomendaciones para los administradores de las Áreas Marinas Protegidas



El cambio climático ya está alterando el equilibrio del medio marino centroamericano, con graves e irreversibles consecuencias para los ecosistemas y los servicios que proporcionan. La interrupción de las funciones ecológicas y los servicios de los ecosistemas tiene repercusiones graves en la salud humana de las comunidades, especialmente en las zonas costeras donde la mayoría de AMP se encuentra y donde muchos medios de vida de las comunidades locales dependen de los servicios ecosistémicos de los sistemas marinos. Por lo tanto se deben tomar acciones para aumentar la capacidad de adaptación de los sistemas marino-costeros y las comunidades que dependen de ello. Al mismo tiempo, las implicaciones del cambio climático sobre el medio marino, la costa y las comunidades tienen que ser comprendidas y manejadas adecuadamente, al igual que las interconexiones entre las vulnerabilidades terrestres y marinas, que deben ser manejados a través de estrategias integradas de adaptación al clima. Esto es particularmente importante para las áreas

marinas protegidas que tienen competencia territorial sobre tierra y mar.

Las siguientes ideas tienen por objeto proporcionar orientación a los administradores y planificadores de AMP para supervisar, entender, prevenir y ser eficaz en las propuestas cuya finalidad es hacerle frente a los cambios inducidos por el clima, a fin de mantener las funciones ecológicas y aumentar la capacidad de recuperación de estos<sup>1</sup>.

- **CREAR** zonas de no extracción y ajustar las zonas de amortiguamiento en aquellas áreas protegidas marinas ubicadas principalmente en zonas de surgencia y hábitat de cría de especies que proporcionan alta productividad marina. Zonas de veda son vitales para monitorear el pulso de la AMP, desde donde se dispersan larvas y donde los peces pueden buscar refugio. Zonas de no-extracción deben establecerse en las zonas que son naturalmente resistentes al cambio climático. La colaboración con centros de investigación y otras instituciones pueden ayudar a identificar estos sitios naturalmente resilientes.
- **CONSERVAR** la vegetación a lo largo de las playas y la costa para mantener el sombreado natural. Los árboles y arbustos mitigan las altas temperaturas de la época seca, a la vez que previenen la erosión de la costa. La vegetación

<sup>1</sup> Adaptado de: IUCN, MedPan, WWF.2012. y A. Lhumeau, D. Cordero. 2012.

tanto en el interior y lo largo de la costa también ayuda a retener la humedad y proteger las fuentes de agua, particularmente importante en áreas donde la lluvia va a tender a disminuir.

- **ESTABLECER** programas de monitoreo de especies centinela sensibles al clima (por ejemplo Cirripedios) y las especies invasoras (por ejemplo *Pterois antennata*), para ayudar a evaluar los cambios e informar a los tomadores de decisión. Si es posible, integrar monitoreo de especies indicadoras de la calidad ambiental, utilizando la temperatura y pH, así como el seguimiento de los acontecimientos esporádicos (tales como afloramientos algales, mortalidad masiva y blanqueamiento), para ayudar en la identificación de la vulnerabilidad de los hábitats y las especies.
- **LIMITAR** los artes de pesca y las capturas de especies específicas que van en detrimento de especies de peces sensibles y de especies que tiene importantes funciones ecológicas o de competencia con especies exóticas (Ejemplo especies peces herbívoros). La disminución de la presión de pesca aumenta la resiliencia y le da oportunidad a las especies para recuperarse de las condiciones ambientales cambiantes. Poblaciones inestables son más propensas a ser desplazadas por nuevas especies.
- **MINIMIZAR** al mínimo la captura incidental y evitar el uso de

artes de pesca no selectivas para evitar el estrés en las poblaciones y exacerbar la sobrepesca. Mantener la pesca productiva y en pequeña escala para promover la seguridad alimentaria y hacer que los medios de vida de la gente sean más sostenibles.

- **REDUCIR** los impactos y factores de estrés sobre aquellas especies sensibles (Ejemplo las especies calcáreas). Dado que el cambio climático provocara condiciones de vida más difíciles para estas especies, cualquier presión adicional puede causar la mortalidad en masa o la extinción total para estas y otras especies asociadas.
- **COMPRENDER** los impactos sobre el medio ambiente, las actividades de los visitantes y los escenarios futuros que pueden venir. Las evaluaciones de los impactos inducidos por el clima y los escenarios específicos para una región en particular donde se encuentra la APM son herramientas valiosas para el desarrollo de estrategias de adaptación y la construcción de marcos de seguimiento con indicadores de cambio climático.
- **DESARROLLAR** estrategias que integren medidas de adaptación, tanto para los ecosistemas y comunidades terrestres y marinas. Estas estrategias debe tener en cuenta la conectividad entre actividades terrestres (impactos y cambios) y marinas (por ejemplo, la agricultura se verá afectada por la escasez de precipitaciones, y será necesario un mayor uso de

sistemas de desalinización con el consiguiente impacto en la biota marina o el desarrollo de variedades resistentes al agua de mar).

- **MINIMIZAR** al mínimo la modificación de la línea de costa para mantener los hábitats naturales que protegen el agua y las especies y regulan el clima local. El desarrollo de infraestructura costera (asentamientos humanos, puertos, oleoductos, etc.) también aumentan el riesgo de intrusión salina que puede ser altamente perjudicial para zonas pobres en agua dulce (Por ejemplo, Islas).
- **REUSAR** residuos y promover el reciclaje especialmente el de agua de lluvia, sobre todo en zonas donde se espera que las precipitaciones tienda a disminuir o mostrar patrones esporádicos de precipitación. En general la reutilización y reciclaje de residuos urbanos es una buena práctica porque disminuye el volumen que va a vertederos y que contribuyen a elevar los gases de efecto invernadero (dióxido de carbono y metano). La cooperación con la industria de turismo (incluidos los buques de cruceros y los grandes operadores hoteleros) podrían ser la clave para minimizar el impacto ambiental del turismo en las AMP. Una gestión adecuada de residuos y el agua contribuye a tener agua de buena calidad y evitar la contaminación, factores que pueden ser limitantes para los mismos operadores turísticos.
- **IMPLEMENTAR** programas de comunicación y educación para las

comunidades y actores locales (pescadores, visitantes, operadores de turismo etc.) para crear conciencia de que el problema de cambio climático es una cuestión compleja que requiere de la participación y de todos los interesados. Solamente a través de una estrecha cooperación y voluntad se puede lograr una adaptación social y ecológica.

- **DISEÑAR** las medidas de adaptación basada en Ecosistemas (ABE) donde la utilización de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas sean parte de una estrategia más amplia de adaptación, para ayudar a las personas a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático. Este enfoque de ABE integra el manejo sostenible, la conservación y la restauración para proveer servicios que permiten adaptarse a los impactos del cambio climático. Su propósito es mantener y aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas y las personas.

## REFERENCIAS

- Aguilar, E., et al. (2005).** *Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003.* J. Geophys. Res., 110, D23107, doi:10.1029/2005JD006119.
- A. Lhumeau, D. Cordero. (2012).** *Adaptación basada en Ecosistemas: una respuesta al cambio climático.* UICN, Quito, Ecuador. 17 pp.
- Anthony K.R.N. and Marshall P. (2009).** *Coral Reefs and Climate Change.* In *A Marine Climate Change Impacts and Adaptation Report Card for Australia 2009* (Eds. E.S. Poloczanska, A.J. Hobday and A.J. Richardson), NCCARF Publication 05/09, ISBN 978-1-921609-03-9.
- Ballestero D, Murillo G, Salazar P. (2011).** *Variabilidad y cambio del nivel del mar en el Golfo de Honduras.* Informe Técnico preparado por el Laboratorio de Oceanografía y Manejo Costero de la Universidad Nacional. Setiembre 2011. 20 p.
- Ballestero D, Salazar P. (2012).** *Variabilidad y cambio del nivel del mar en Costa Rica* Informe Técnico preparado por el Laboratorio de Oceanografía y Manejo Costero de la Universidad Nacional. Setiembre 2012. 31 p.
- Bakun A. (1990).** *Coastal Ocean Upwelling.* Science, 1990: Vol. 247. no. 4939, pp. 198 – 201
- BIOMARCC-USAID (2013).** *Vulnerabilidad y escenarios bioclimáticos de los sistemas marino-costeros a nivel del caribe centroamericano.* San José, Costa Rica. 80 pags.
- Brock, R.J., Kenchington, E., and Martínez-Arroyo, A. (editors). (2012).** *Scientific Guidelines for Designing Resilient Marine Protected Area Networks in a Changing Climate.* Commission for Environmental Cooperation. Montreal, Canada. 95 pp.
- CEPAL.(2010).** *Cambio climático y retos para el sector turismo de Centroamérica.* Comisión Económica para América Latina - Serie Estudios y perspectivas - México - N° 123. México D.F.-México. 76 Págs.
- Connolly, R.M. (2009).** Seagrass. In *A Marine Climate Change Impacts and Adaptation Report Card for Australia 2009* (Eds. E.S. Poloczanska, A.J. Hobday and A.J. Richardson), NCCARF Publication 05/09, ISBN 978-1-921609-03-9.
- Chambers L.E., Congdon B.C., Dunlop N., Dann P. and Devney C. (2009).** Seabirds. In *A Marine Climate Change Impacts and Adaptation Report Card for Australia 2009* (Eds. E.S. Poloczanska, A.J. Hobday and A.J. Richardson), NCCARF Publication 05/09, ISBN 978-1-921609-03-9.
- Chin A., and Kyne P. (2007).** Chapter 13. *Vulnerability of chondrichthyan fishes in the Great Barrier Reef to climate change.* In *Climate Change and the Great Barrier Reef*, eds. Johnson JE and Marshall PA. Great Barrier Reef Marine Park Authority and Australian Greenhouse Office, Australia. Pages 393-425
- Diffenbaugh N., Snyder M., and Sloan L. (2004).** *Could CO2-induced land-cover feedbacks alter near-shore upwelling regimes?* PNAS, January, 2004, vol. 101, no. 1, 27–32
- Domingues C., Church J., White N., Gleckler P., Wijffels S., Barker P., & Dunn J. (2007).** *Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise.* Nature 453, 1090-1093 (19 June 2008)
- Emanuel, K. A. (1987).** *The dependence of hurricane intensity on climate.* Nature 326, 483–485 (1987).
- Feenstra Jan F., Burton Ian, Smith Joel B., Tol Richard S.J.. (1998).** *Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies.* United Nations Environment Programme UNEP, Institute for Environmental Studies. 464 pages. Nairobi. Kenia
- Gómez Eddy. (2006).** *Capítulo I: Estuarios.* En *Ambientes Marino Costeros de Costa Rica*, eds. Muñoz Vanessa y Quesada Marco. Informe Técnico. Comisión Interdisciplinaria Marino Costera de la Zona Económica Exclusiva de Costa Rica. Pags. 11-16
- Giorgi, F. (2006).** *Climate change hot-spots,* Geophys. Res. Lett., 33, L08707
- Grimsditch, Gabriel D. and Salm, Rodney V. (2006).** *Coral Reef Resilience and Resistance to Bleaching.* IUCN, Gland, Switzerland. 52pp.
- FAO. 2007.** *Building adaptive capacity to climate change. Policies to sustain livelihoods and fisheries. New Directions in Fisheries - A Series of Policy Briefs on Development Issues.* No. 08. Rome. 16 pp.
- Hamann M., Limpus C., and Read M. (2007).** Chapter 15. *Vulnerability of marine reptiles in the Great Barrier Reef to climate change.* In *Climate Change and the Great Barrier Reef*, eds. Johnson JE and Marshall PA. Great Barrier Reef Marine Park Authority and Australian Greenhouse Office, Australia. Pages 465-496
- Hansen J., Sato M., Ruedy R., Lo K., Lea D., and Medina-Elizade M. (2006).** *Global temperature change.* PNA, September, 2006, Vol. 103, no. 39. Download: [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0606291103](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0606291103)

- Herr, D. and Galland, G.R. (2009).** *The Ocean and Climate Change. Tools and Guidelines for Action.* IUCN, Gland, Switzerland. 72pp.
- Hawkes, L. A., A. C. Broderick, M. H. Godfrey, and B. J. Godley. (2009).** *Climate change and marine turtles.* Endangered Species Research 7:137-154
- Hiscock K., Southward A., Tittley I., Jory A., Hawkins S., (2001).** *The Impact of Climate Change on Subtidal and Intertidal Benthic Species in Scotland.* Report to Scottish Natural Heritage from the Marine Biological Association of the UK. 211 pages
- Horton S., and McKenzie K. (2009).** *Identifying Coastal Habitats at Risk from Climate Change Impacts in the Gulf of Maine.* Gulf of Maine Council on the Marine Environment  
Climate Change Network. Maine, USA. 38 Pages
- ICES. 2011.** *ICES Report on Ocean Climate 2011.* (2012). International Council for the Exploration of the Sea. Copenhagen -Denmark. no. 314 special issue august 2012.
- IPCC. (2007).** *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- 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. Cambridge University Press. London-UK. 164 pp.
- 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. Cambridge University Press. London-UK. 116 pp.
- IUCN, MedPan, WWF.(2012).** *A changing Mediterranean coastal marine environment under predicted climate-change scenarios. A manager's guide to understanding and addressing climate change impacts in marine protected areas.* International Union Conservation Nature (IUCN), The network of Marine Protected Areas managers in The Mediterranean (MedPan), World Wild Fund (WWF). Malaga. Spain. 16 pages
- Kennedy V., Twilley R., Kleypas J., Cowan j., Hare S. (2002).** *Coastal and marine ecosystems & Global climate change.* Potential Effects on U.S. Resources. Pew Center on Global Climate Change. Arlington, VA-USA. 62 pages.
- Learmonth J., Macleod C., Santos M., Pierce G., Crick H., & Robinson R. (2006).** *Potential Effects of Climate Change on Marine Mammals.* Oceanography and Marine Biology: An Annual Review. 44, 431-464
- Lovelock C., and Ellison J. (2007).** Chapter 9. *Vulnerability of mangrove and tidal wetlands of the Great Barrier Reef to climate change.* In Climate Change and the Great Barrier Reef, eds. Johnson JE and Marshall PA. Great Barrier Reef Marine Park Authority and Australian Greenhouse Office, Australia. Pages 238-269
- McLeod, Elizabeth and Salm, Rodney V. (2006).** *Managing Mangroves for Resilience to Climate Change.* IUCN, Gland, Switzerland. 64pp.
- Magrin, G., C. Gay García, D. Cruz Choque, J.C. Giménez, A.R. Moreno, G.J. Nagy, C. Nobre and A. Villamizar, (2007).** *Latin America. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability.* Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 581-615.
- Munday P., Jones G., Sheaves M., Williams A. and Goby G. (2007).** Chapter 12. *Vulnerability of fishes in the Great Barrier Reef to climate change.* In Climate Change and the Great Barrier Reef, eds. Johnson JE and Marshall PA. Great Barrier Reef Marine Park Authority and Australian Greenhouse Office, Australia. Pages 357-391
- Neelin, J. D., M. Munnich, H. Su, J. E. Meyerson, and C. E. Holloway (2006).** *Tropical drying trends in global warming models and observations,* Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.
- OMM. (2013).** *El Estado del Clima Mundial 2001-2010. Un Decenio de Fenómenos Climáticos Extremos Informe Resumido.* Organización Meteorológica Mundial. Genève- Suiza. 20 Págs
- Orr, J.C., K. Caldeira, V. Fabry, J.-P. Gattuso, P. Haugan, P. Lehodey, S. Pantoja, H.-O. Pörtner, U. Riebesell, T. Trull, M. Hood, E. Urban, and W. Broadgate. (2009).** *Research Priorities for Ocean Acidification,* report from the Second Symposium on the Ocean in a High-CO2 World, Monaco, October 6-9, 2008, convened by SCOR, UNESCO-IOC, IAEA, and IGBP, 25 pp., (available at <http://ioc3.unesco.org/oauct/HighCO2World.html>).

- Pihen E., Nielsen V., Espinoza M. (2006).** *Capítulo XI: Tortugas Marinas.* En Ambientes Marino Costeros de Costa Rica, eds. Muñoz Vanessa y Quesada Marco. Informe Técnico. Comisión Interdisciplinaria Marino Costera de la Zona Económica Exclusiva de Costa Rica. Páginas 149-166
- Rauscher, S. A., F. Giorgi, N. S. Diffenbaugh, and A. Seth (2008).** *Extension and intensification of the Meso-American mid-summer drought in the twenty-first century,* Clim. Dyn.,
- Richardson K., Steffen W., Joachim H., Alcamo J., Terry B., Kammen D., Rik L., Liverman D., Munasinghe M., Osman B., Stern N., Wæver O. (2009).** *Synthesis Report: Climate Change, Global Risks, Challenges & Decisions.* University of Copenhagen. Second edition. Copenhagen, Denmark. 39 pages.
- Sheaves M., Brodie J., Brooke B., Dale P., Lovelock C., Waycott M., Gehrke P., Johnston R., Baker R. (2007).** *Chapter 19. Vulnerability of coastal and estuarine habitats in the Great Barrier Reef to climate change.* In Climate Change and the Great Barrier Reef, eds. Johnson JE and Marshall PA. Great Barrier Reef Marine Park Authority and Australian Greenhouse Office, Australia. Pages 594-620
- SICA, CRRH, UCR, CIGEFI-UCR. (2006).** *Impacts and Adaptation to Climate Change and Extreme Events in Central America.* Central America Integration System (SICA), Regional Committee on Hydraulic Resources (CRRH), University of Costa Rica (UCR), Geophysical Research Center (CIGEFI-UCR). San José-Costa Rica, 123 páginas.
- Smith K., Ruhl H., Bett B., Billett D., Lampitt S., and Kaufmann R. (2009).** *Climate, carbon cycling, and deep-ocean ecosystems.* PNAS, November, 2009, vol. 106, no. 46, 19211-19218
- Snyder M., Sloan L., Diffenbaugh N., and Bell J. (2003).** *Future climate change and upwelling in the California Current.* GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 30, NO. 15, 1823
- Stella Claudia. (2013).** *Contribución de la Pesca y la Acuicultura a la Seguridad Alimentaria y el Ingreso Familiar en Centroamérica.* Reporte de Consultoría. Roma-Italia. Enero 2013. 150 Págs.
- Tans Pieter. 2014.** *NOAA/ESRL (www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/) and Keeling Ralph, Scripps Institution of Oceanography (scrippsco2.ucsd.edu).* <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>. Consultada 19 de abril del 2014.
- The Copenhagen Diagnosis. (2009).** *Updating the World on the Latest Climate Science.*
- I. Allison, N.L. Bindoff, R.A. Bindaschadler, P.M. Cox, N. de Noblet, M.H. England, J.E. Francis, N. Gruber, A.M. Haywood, D.J. Karoly, G. Kaser, C. Le Quéré, T.M. Lenton, M.E. Mann, B.I. McNeil, A.J. Pitman, S. Rahmstorf, E. Rignot, H.J. Schellnhuber, S.H. Schneider, S.C. Sherwood, R.C.J. Somerville, K. Steffen, E.J. Steig, M. Visbeck, A.J. Weaver. The University of New South Wales, Climate Change Research Centre (CCRC), Sydney, Australia, 60pp.
- Trenberth K. (2005).** *Uncertainty in Hurricanes and Global Warming.* SCIENCE 308, 1753-1754 (2005)
- Turley, C. & Scholes, M. (2009).** The Acidification of the Planet. In: Richardson, K. et al. (2009) (eds.) Climate Change. Global Risks, Challenges and Decisions. Synthesis Report, Copenhagen 2009, 10-12 March. Copenhagen, DK. pg 15.
- UNEP/CMS. (2006).** *Migratory Species and Climate Change: Impacts of a Changing Environment on Wild Animals.* United Nations Environment Programme (UNEP) and the Secretariat of the Convention Migratory Species. Bonn, Germany. 68 pages.
- Waycott M., Collier C., McMahon K., Ralph P., McKenzie L., Udy J. and Grech A. (2007).** Chapter 8. *Vulnerability of seagrasses in the Great Barrier Reef to climate change.* In Climate Change and the Great Barrier Reef, eds. Johnson JE and Marshall PA. Great Barrier Reef Marine Park Authority and Australian Greenhouse Office, Australia. Pages 193-235
- Webster P., Holland G., Curry A., and Chang R. (2005).** *Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment.* SCIENCE 309, 1844-1846 (2005)
- WTO, UNEP.(2008).** *Climate Change and Tourism - Responding to Global Challenges.* World Tourism Organization and United Nations Environment Programme. Madrid, Spain. 269 Pages



**giz**



Bundesministerium  
für Umwelt/Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

