

Posible impacto del calentamiento global sobre el ecosistema de las antillas mayores

Roberto Trinidad Pizarro, Ed.D., Ms.EH

Recinto de Río Piedras, Universidad de Puerto Rico
San Juan, Puerto Rico

Resumen

Muchos cambios climáticos inducidos por emisiones antropogénicas han sido observados por los científicos en las últimas décadas. La actividad antropogénica incremento a partir de la revolución industrial, primeramente por el uso de motores de vapor y luego muchos otros tipos de motores de combustible fósil como generador motriz. Este incremento en consumo energético tiene asociado un aumento en la contaminación atmosférica y se ha liberado a la atmósfera, de manera significativa, grandes concentraciones de contaminantes que han alterado la composición y la función de la atmósfera. Los gases contribuyentes al fenómeno conocido como Efecto Invernadero han aumentado y están asociados al aumento en la temperatura promedio del planeta o Calentamiento Global. Este aumento en temperatura ha de repercutir a nivel global y, además, producirá efectos particulares en la región antillana.

Entre los posibles efectos climáticos regionales sobre el área donde radica el archipiélago antillano, se encuentran: cambios en los patrones de temperatura, cambios en la cobertura de las nubes y en la precipitación pluvial anual, cambios en la producción y en la estructura y composición de las diferentes especies contenidas en los bosques subtropicales, como lo es el Bosque Experimental del Yunque, por mencionar un ejemplo. El propósito de este trabajo es presentar cuáles son los posibles efectos del Calentamiento Global sobre el archipiélago antillano.

Abstract

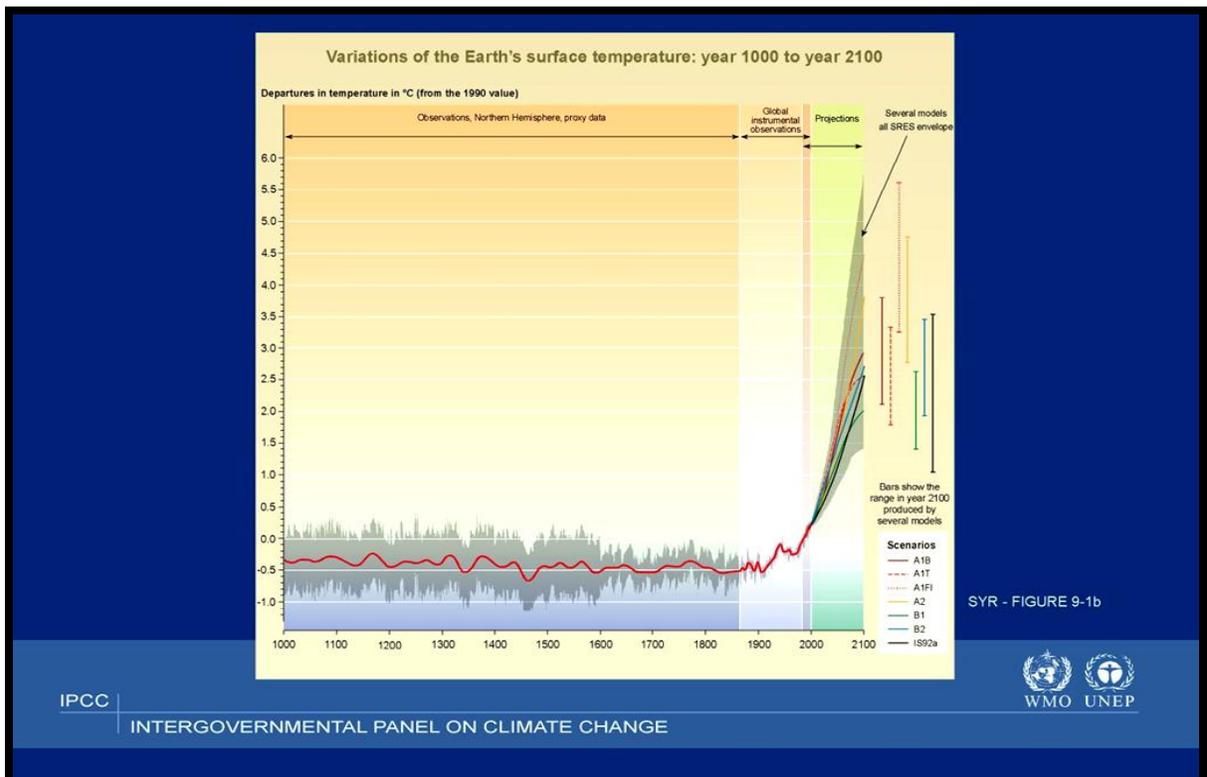
In the last decades Scientifics have observed many climatic changes induced by anthropogenic emissions. Anthropogenic activity has been on the increase since the industrial revolution, firstly by the use of vapor motors and then by the use of other types of motors of fossil fuel used as motor generators. This increase in energetic consume is associated with a rise in atmospheric contamination and a significant amount of the liberated contaminants have changed the composition and function of the atmosphere. The gases that contribute to the phenomenon known as greenhouse effect have increased and are associated with the rise in the average temperature in Earth known as global warming. This increase in the temperature will have an effect in a global level and will produce particular changes in the Caribbean region.

Many of the climatic changes that can be found in the Caribbean región are: changes in temperature patterns, changes in the clouds coverage and the annual rain precipitation, changes in the production, structure and composition of the different species contained in the subtropical forests such as El Yunque National Forest. The purpose of this work is to present the possible effects of global warming in the Caribbean.

Introducción

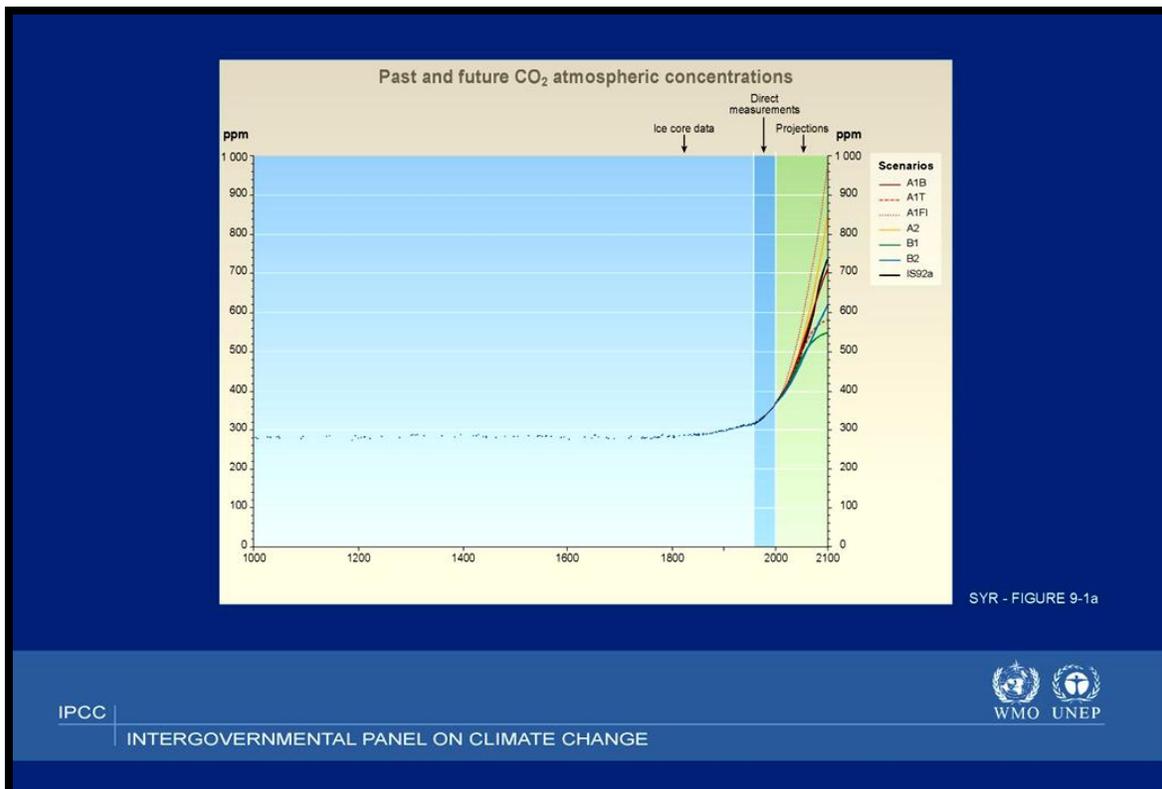
A partir de la revolución industrial, los seres humanos a través de sus múltiples actividades han incrementado de manera significativa la cantidad y la concentración de contaminantes en las diferentes regiones de la atmósfera. Ello principalmente debido al constante uso y modificación de motores utilizando combustible fósil como generador motriz. Como resultado del auge tecnológico, se queman diariamente miles de millones de litros de combustibles fósil y no fósil introduciendo así enormes cantidades de subproductos de la combustión incompleta a la atmósfera. La entrada de nuevos contaminantes a la atmósfera en los últimos ciento cincuenta años ha contribuido de forma exponencial a los efectos de calentamiento global que revierten sobre el planeta. El uso de combustibles fósiles como madera, carbón y derivados de petróleo así como otras sustancias orgánicas sintéticas ha liberado a la atmósfera, altas concentraciones de contaminantes en forma de gas.

Los efectos de estos cambios atmosféricos como consecuencia del incremento de contaminantes son de carácter global, afectando de esta manera las propiedades físicas de la atmósfera, incluyendo su composición, la concentración de especies químicas contenidas en la atmósfera y la temperatura global.



El efecto invernadero es responsable de mantener una distribución uniforme de temperatura en las capas bajas de la tropósfera. El vapor de agua y el dióxido de carbono son los principales gases de efecto invernadero y se acumulan en la atmósfera de manera natural. Estos actúan como un filtro que permite la entrada de la radiación solar de onda corta hacia la Tierra, pero al mismo tiempo, absorben parte de la radiación infrarroja de onda larga que emite la Tierra hacia la atmósfera y la transmiten en todas direcciones, manteniendo, de esta manera, una temperatura capaz de para sostener la vida en la Tierra. Si no ocurriese este proceso natural, la temperatura promedio en la superficie del planeta sería alrededor de negativo dieciocho grados centígrados en lugar de los catorce grados centígrados que disfrutamos hoy día.

Estos contaminantes que han alterado la composición y la función de la atmósfera en las últimas décadas, provocando diferentes fenómenos atmosféricos que de una u otra forma afectan la salud y la calidad de vida de los seres humanos. Entre estos fenómenos podemos mencionar: la precipitación ácida, “el SMOG”, los huecos en la capa de ozono y el calentamiento global. Todos estos fenómenos han sido inducidos por las emisiones a la atmósfera de contaminantes de origen antropogénico en los pasados dos siglos.



Los gases de efecto invernadero

El aporte antropogénico al efecto invernadero, que es tema que nos concierne hoy día, es producido por una serie de gases que se conocen colectivamente como *gases de efecto invernadero*. Estos gases se han estado acumulando en las diferentes regiones o capas de la atmósfera, especialmente en la tropósfera y la estratósfera, provocando reacciones químicas que alteran su composición y los procesos naturales que en ellas ocurren. Los gases de efecto invernadero tienen la capacidad de disminuir la cantidad de radiación infrarroja que sale de la superficie de la Tierra hacia el espacio induciendo, de esta manera, el calentamiento de la superficie del planeta.

Entre estos gases de efecto invernadero se encuentran principalmente: el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), los clorofluorocarbonos (CFCs-11 y CFCs-12), los halocarburos (HFC, HCFC) y los óxidos de nitrógeno (NO , NO_2 y N_2O) por mencionar algunos.

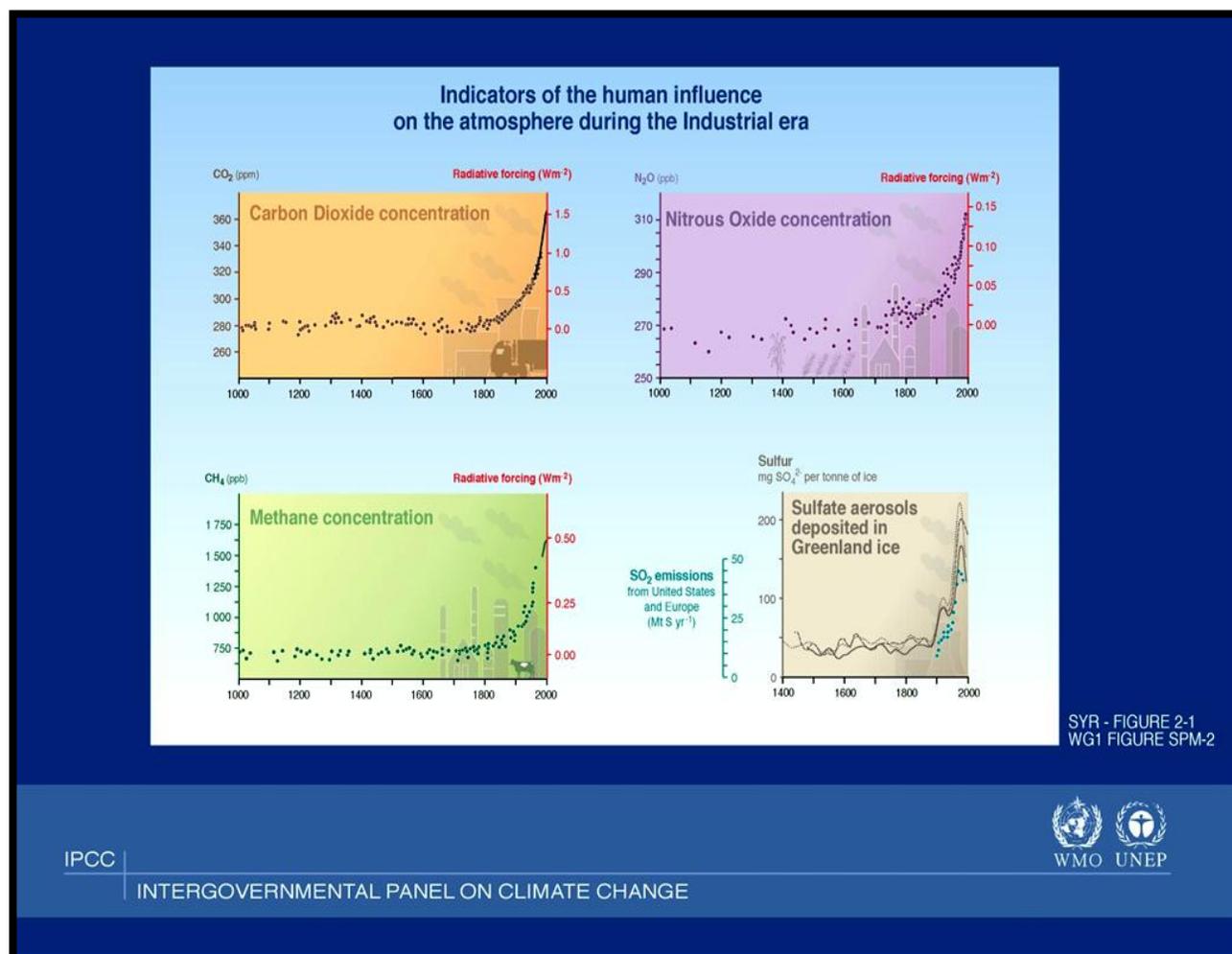


Tabla 1
Composición, Índice de Crecimiento
y Eficiencia de algunos Gases Invernadero
(2001)

Agente	Atmósfera (ppm)	Índice de crecimiento (%)	Eficiencia
CO ₂	380.00	0.50	1
CH ₄	1.70	0.90	20
CFCs-11	0.28	4.00	12,000
CFCs-12	0.48	4.00	16,000
N ₂ O	0.31	0.25	200

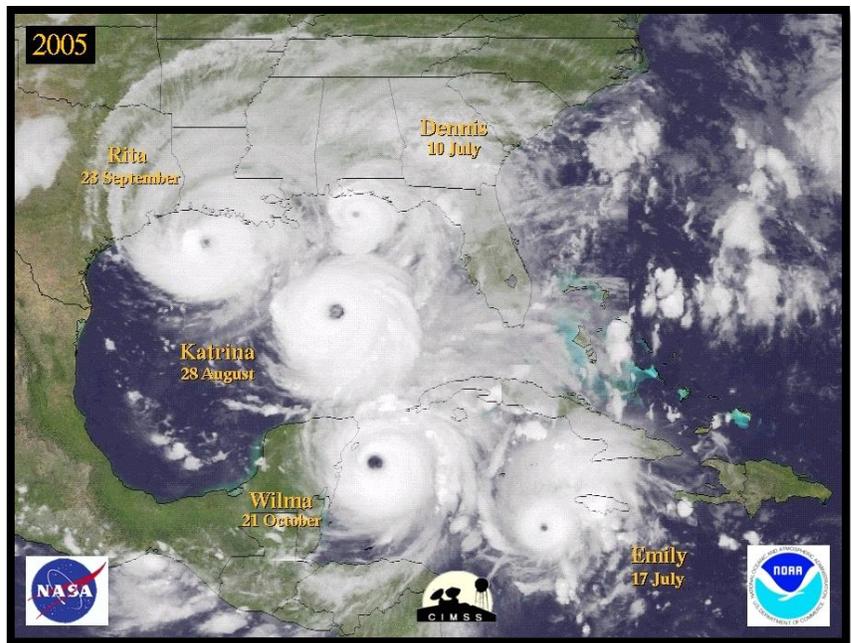
La Tabla 1 nos presenta varios gases de efecto invernadero. La misma muestra la concentración en la cual se encuentra en la atmósfera, su índice de crecimiento para la década de los 90, y su eficiencia como gas de efecto invernadero.

La presencia desmedida de estos gases inducirá cambios climáticos globales, caracterizados por un aumento en la temperatura promedio del planeta, así como también cambios en los patrones climáticos regionales. Estos últimos eventualmente producirán cambios en la distribución de las temperaturas regionales, que a su vez producirán:

1. aumento en el nivel del mar, debido al derretimiento de la capa polar, lo que a su vez provocará la eventual pérdida del litoral costero y de los humedales.
2. aumento en la frecuencia e intensidad de los huracanes,
3. sequías y desertificación de áreas cercanas a las regiones tropicales,
4. migración a elevaciones más altas de la flora y la fauna, lo que a su vez producirá cambios en las redes alimentarias,
5. empobrecimiento y eventual pérdida de zonas ecológicas,
6. cambios en los patrones poblacionales de algunos patógenos que eventualmente producirán enfermedades y/o epidemias,
7. cambios en la cobertura de las nubes y en la precipitación pluvial anual, lo que a su vez provocará inundaciones y la pérdida del recurso agua, y
8. cambios en la estructura y composición de las diferentes especies contenidas en los bosques subtropicales, como ejemplo lo es el Bosque del Yunque en Puerto Rico.

Se estima que la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera ha aumentado entre un 20 a un 30 %, a partir de la revolución industrial. Sin embargo, la concentración de este gas ha variado muy poco, menos de 10 %, desde la última era glacial aproximadamente hace 20,000 años. La concentración de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico aumento de 271 partes por millón (ppm) a principios de la era industrial a 371 ppm para principios del 2001. Se espera que la concentración de dicho gas se encuentre entre los 490 a los 840 ppm para el 2100, cifras que algunos consideran conservadoras. De acuerdo al *Intergovernmental Panel for Climate Change*, (IPCC, por sus siglas en inglés), un aumento de esta magnitud en la concentración de CO₂ atmosférico producirá cambios dramáticos en los patrones de circulación global, en los ciclos del agua y en los ciclos energéticos. De acuerdo a los diferentes modelos climáticos, se espera un incremento en temperatura entre 1.5 a 5.5 grados Celsius para el año 2100.

Los pasados 15 años fueron tal vez los más calientes en la historia meteorológica moderna. El año 1998, fue el año más caliente dentro de dicho periodo de tiempo, seguido por año 2001. Además, se produjeron, como consecuencia de ello, varios de los fenómenos atmosféricos más severos que se registran en América; como por ejemplo la formación de varios huracanes tipo 5. Ejemplo de ello lo fueron: Katrina, Georges, Match y Luís. Así también como el paso de grupos de tornados que afectaron todo el ancho y largo de los Estados Unidos.



A continuación discutiremos algunas de las implicaciones o impacto del calentamiento global sobre las Antillas.

Cambios estacionales

La floración de algunas especies de plantas puede verse retrasada como consecuencia de cambios estacionales en la precipitación pluvial. Por ejemplo el frío invernal se está sintiendo antes de la llegada del invierno. Mientras el calor del verano se está comenzando a sentir con la llegada de la primavera. Comunicación personal con los doctores Méndez Tejada y Peñalver de la Universidad de Puerto Rico en Carolina, sugiere que el rango de temperatura diurna para Puerto Rico, se está acortando cada vez más, indicador de calentamiento progresivo. Se sabe que las especies más sensitivas y dependientes de los fenómenos climáticos, especialmente para su reproducción y supervivencia, se encuentran en las zonas tropicales. Entre estas especies se destacan: aves, insectos, anfibios y reptiles. El clima afecta su apareamiento y su dispersión, ya que estos están asociados a las temperaturas estacionales y por ende a la necesidad de alimentos y nutrientes. Por ejemplo, podemos citar a algunos pescadores puertorriqueños, como también pescadores de las islas vecinas a Puerto Rico, quienes dicen no haber encontrado aquellas especies de peces que frecuentaban nuestras costas durante la cuaresma, como chillo y colirubia.

Aumento en los procesos de evaporación y evapotranspiración

Un aumento en la temperatura regional provocaría un aumento en los procesos de evaporación y evapotranspiración; lo que a su vez provocaría una disminución en el recurso agua. Considérese este ejemplo de 1994 en Puerto Rico, durante una sequía aumento la razón de evapotranspiración en los embalses debido a un crecimiento desmedido de los jacintos de agua que abundan en estos. Ello redundará en un aumento en la humedad relativa y la disminución en la capacidad de almacenaje de agua en los lagos y embalses. Esto hará vulnerable a algunas especies de árboles e insectos, haciendo que se muevan a alturas mayores. Un aumento previsto de temperatura en El Yunque aumentaría la descomposición de la materia orgánica posiblemente alterando el balance entre los hongos, termitas y bacterias, entre otros. La pérdida de una especie alteraría las cadenas alimenticias y/o las relaciones entre presa y depredador creando inestabilidad en el sistema ecológico como unidad.

Otros efectos de un aumento en evaporación y evapotranspiración en el Bosque del Yunque incluyen cambios en las relaciones entre especies, incluyendo las simbiosis mutualísticas como ejemplifican el líquen y las micorrizas. Herbívoros como el caracol verde (*Gaeotis nigrolineata*), único del bosque, y especies de caballitos palo (*Lamponius* sp.) podrían exhibir una alta mortalidad durante olas de calor, sequías y/o desecación o por cambios en las estaciones frutales.

Un aumento en la temperatura de nuestros sistemas ecológicos producirá a su vez un aumento en la razón de descomposición de la materia orgánica, debido al cambio en la acidez del terreno. El cambio en la acidez del terreno y el aumento en la descomposición de materia orgánica producirán la expansión o movilidad a mayores alturas de los bosques de Tabonuco, (*Dacroides Excelsa*) y el Palo Colorado (*Cyrilla Racemiflora*). El movimiento de algunas especies de árboles a alturas mayores, desplazarán a las especies ya existentes por su mayor tamaño y envergadura, provocándoles así su extinción al no poderse moverse a otros lugares más altos. Ejemplo de lo anterior, también lo serán los árboles de Ausubo (*Manilkara Bidentada*) y el Laurel Sabino (*Magnolia splendens*). Estos árboles estarían obligados a cambiar su rango de extensión en el bosque buscando el recurso agua. Evitando así el desarrollo de árboles de mediana altura, desplazando de esta manera al bosque enano o *Elfin Forest* en el proceso. El bosque enano que se encuentra en el Bosque del Yunque es

• **Aumento en procesos de evaporación y evapotranspiración:**

- Disminución en el recurso agua (disminución de la capacidad de almacenaje de agua en los lagos y embalses)
- Aumento en la humedad relativa
- Ciertas especies de árboles e insectos se moverán a alturas mayores desplazando a las ya existentes. Por ejemplo el Palo Colorado por ser un árbol de gran envergadura desplazará a los árboles del bosque enano *Elfin Forest* llevándolo eventualmente a su extinción al no poderse trasladar a elevaciones mayores.



el de más fácil acceso y el de menor elevación en el mundo. Por tal razón, es de esperar cambios en la distribución de especies que componen el dosel del Bosque del Yunque.

- El aumento en la humedad relativa y en la temperatura del sistema ocasionara un cambio en el pH del terreno y por ende un aumento en la razón de descomposición de la materia orgánica.
- Lo que a su vez producirá la expansión o movilidad a alturas mayores de los siguientes tipos de bosque:
 - Tabonuco, (*Dacryodes Excelsa*), el Palo colorado (*Cyrilla Racemiflora*), Ausubo (*Manilkara Bidentada*) y el Laurel Sabino (*Magnolia Splendens*).



Aumento en la población de organismos patógenos

La desecación del ambiente también podría tener cambios en los patógenos que provocan enfermedades y cambiar el rango y severidad de parásitos y otros organismos peligrosos para la biósfera. No se sabe a ciencia cierta cómo afectará el calentamiento climático global a la población de organismos patógenos, sin embargo, el aumento en la razón en la descomposición de materia orgánica debido al cambio en el pH del terreno así como el aumento en la humedad relativa de nuestros sistemas ecológicos habrá de producir un “coctail” idóneo para el crecimiento en población de estos organismos patógenos. Hay que destacar el hecho que las partículas de polvo provenientes del Desierto del Sahara traen consigo, entre otros, microorganismos patógenos, ya que estas partículas sirven como medio de transporte para las mismos. Al producirse cambios en los patrones de viento es de esperar que los mismos traigan consigo un aumento en la región de estos organismos patógenos foráneos.

De otra parte, hay que señalar que existe una relación directa entre las *Mareas Rojas* en el Golfo de México y las partículas de polvo proveniente del Sahara. Esta marea roja es el resultado de una reproducción masiva de algas tóxicas, las cuales no sólo afectan la vida marina, sino también, a los seres humanos de forma directa o indirecta. Esta marea roja está asociada con la muerte de peces, mamíferos marinos, y aves. En los seres humanos produce problemas respiratorios al inhalar las toxinas producidas por estas y tener además reacciones alérgicas en la piel y/o parálisis al momento de consumir mariscos contaminados.

Cambios en los patrones de precipitación

El Bosque del Yunque experimenta unos valores muy altos de precipitación anual que explican el por qué existe un bosque tropical lluvioso en las montañas de Luquillo. La precipitación promedio anual para El Yunque es de 177 a 254 cm al año (70 a 100 pulgadas) a 1575 pies y entre los 250 a 450 cm (100 a 150) pulgadas de lluvia anuales sobre los 2,000 pies de altura. Tanta cantidad de lluvia convierte al Bosque del Yunque en un recurso de agua de gran valor para la región, sin embargo épocas de lluvia excesiva que provocan deslizamientos de tierra e inundaciones, representan un peligro para las comunidades adyacentes al bosque. Son varios los ríos que nacen de la cordillera de El Yunque. Entre estos podemos mencionar los ríos Espíritu Santo, Mameyes y Río Blanco.

De otra parte, épocas de poca o ninguna lluvia resultan perjudiciales para la estabilidad de los bosques de la región por la falta en la disponibilidad de agua. El agua es un recurso en decadencia no solo en Puerto Rico sino en toda la cuenca caribeña. El desarrollo urbano es intensivo en el Caribe, por lo que un aumento en el uso del agua potable en la región aumenta la presión por dicho recurso. En sequías prolongadas afectaría no solo la disponibilidad del recurso sino a todo el ecosistema. Los ríos y sus riachuelos afluentes dependientes se secarán rápidamente durante periodos prolongados sin lluvia. Tómese de ejemplos, la parte oriental de Cuba y la parte occidental de Haití que estuvieron periodos prolongados sin lluvia. Lo que resulta irónico que dichos episodios de sequías prolongadas finalizaron con el paso de varios huracanes por la región.



La falta de lluvia se combinará con la falta de nubes y el calor diurno afectando no sólo a los ríos y riachuelos, sino además a la vegetación y a algunas especies de animales como caracoles e insectos, provocando de esta manera su disminución y su eventual desaparición.

Cambios en los patrones de precipitación podrían afectar también la producción de agua y la estabilidad del ecosistema. La humedad, la cobertura de nubes y el calor intenso especialmente en el verano son elementos importantes en la porción boscosa de Las Antillas. Sin bosques no hay ríos y sin ríos no hay agua en la región. Aunque la precipitación es alta durante todo el año la temperatura y la evaporación son bien variables e intensamente altas durante el verano. Las épocas de sequías con altas temperaturas anulan la producción de agua en el bosque y aniquilan algunas especies de plantas y animales bien sensitivas y dependientes de una alta humedad, como orquídeas y musgos. Algunas especies de animales que obtienen el agua de su alimento, como los herbívoros (caracoles y animales invertebrados) y animales que dependen de una alta humedad y bajas temperaturas como los anfibios (ej. *Eleutherodactylus*) exhiben alta mortalidad durante olas de calor. Como ejemplo, Comunicación personal en congreso científico organizado en la Republica Dominicana en junio de 2006 un deponente local manifestó la desaparición de varios insectos.

Por lo tanto es de esperar un aumento en la precipitación pluvial en las épocas de lluvia, aunque se acorte el tiempo de las mismas, pero al mismo tiempo los periodos de sequías serán más prolongados y más severos. Por ejemplo, la isla de Puerto Rico ha sufrido dos sequías significativas en poco más de una década (1994 y 2005) que han representado graves problemas para la isla. En los últimos años la disponibilidad del agua en Puerto Rico es dependiente de la precipitación con embalses parcialmente llenos de sedimentos. Las lluvias más fuertes arrastran mas sedimentos aumentando así el proceso de sedimentación de los lagos o embalses. Tampoco las áreas de recarga en las montañas recibirán mucha agua afectando la razón de crecimiento de acuíferos confinados.

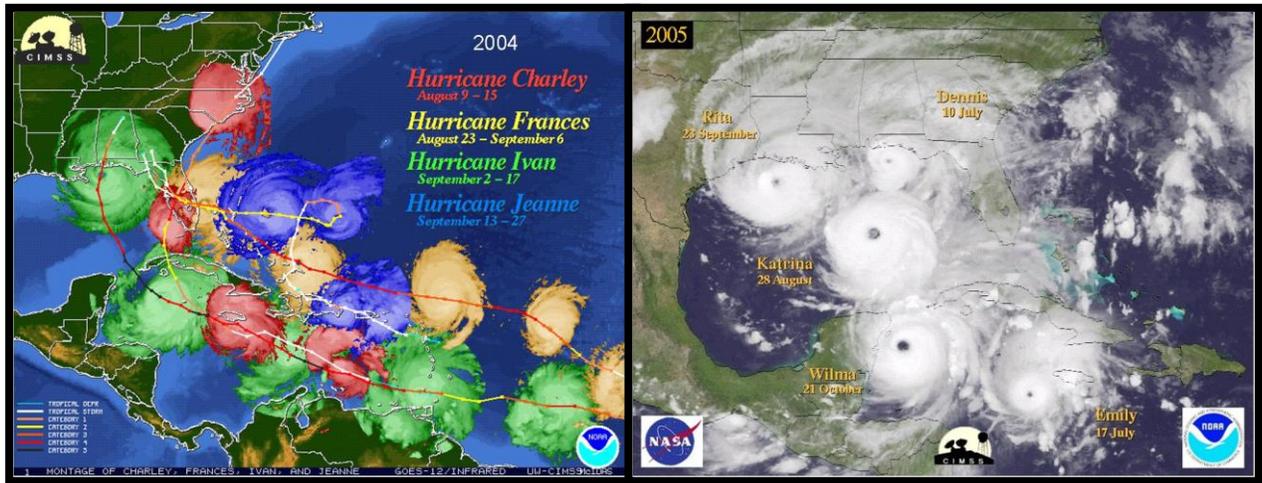
Cambios en los patrones del viento

Cambios en los patrones del viento, podrían tener los efectos más significativos y rápidos sobre la porción boscosa de la región Antillana. La precipitación en la porción montañosa de Puerto Rico y la Española es mayormente de origen orográfico. Estas montañas son la primera barrera que encuentran los vientos provenientes del Atlántico y del Mar Caribe en su movimiento. La dirección y la intensidad del viento guardan una estrecha relación con la temperatura y la precipitación en las islas de Puerto Rico y la Española. Un cambio en la dirección de los vientos del este a unos vientos del sur, provocaría en la isla de Puerto Rico una disminución dramática en la precipitación y en la producción de agua. Esto generaría una reducción mayor de 100 pulgadas en los niveles de precipitación anual sobre los 1000 metros de altura y por ende un cambio dramático en la composición de las especies de los bosques al disminuir los niveles de precipitación bajo las 80 pulgadas anuales.

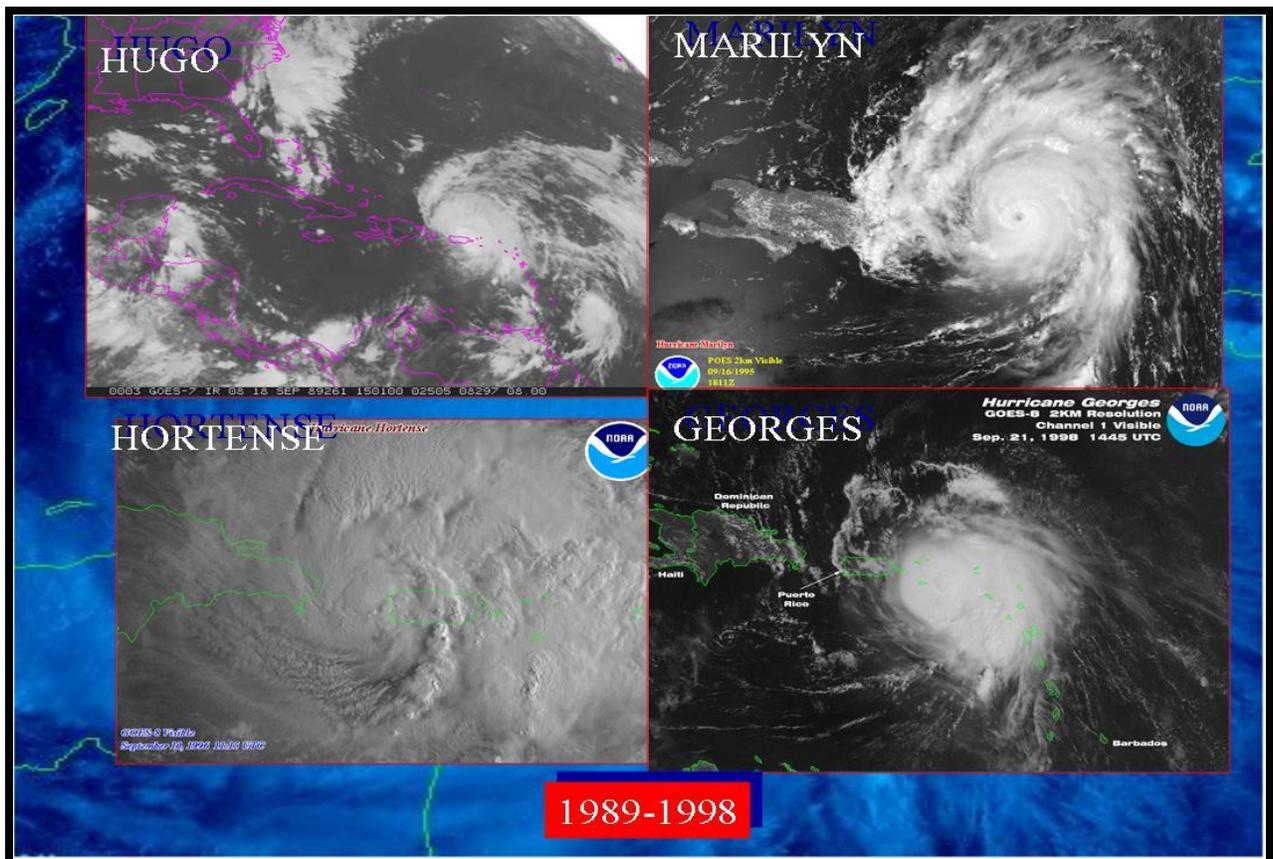
De otra parte, una disminución en la intensidad de los vientos también puede provocar una disminución en la convección y en los niveles de precipitación. Por ejemplo, se sabe que vientos menores de las 10 mph o vientos leves provenientes del sur, disminuyen significativamente la formación de nubes y la precipitación en el Bosque del Yunque especialmente en las laderas norte y este. Es de suponer que lo mismo ha de ocurrir en el sistema de montañas al sur este de la Española y de Cuba.

Aumento en la ocurrencia, intensidad y frecuencia de los huracanes

Un aumento en la ocurrencia, intensidad y frecuencia de los huracanes se prevé como parte de los cambios climáticos inducidos por el calentamiento global. Existe una relación muy estrecha entre la temperatura y la presión atmosférica, a mayor temperatura del sistema, en este caso el agua oceánica o marina, menor será la presión atmosférica (a volumen y densidad constantes) y por ende mayor será la intensidad del huracán. Como ha ido en aumento la temperatura promedio en el Océano Atlántico y en el Mar Caribe es de esperar entonces un mayor número de huracanes para la cuenca de El Caribe. Los mejores ejemplos fueron los años del 2004 y el 2005.



Desde 1930 hasta 1989 el promedio de ocurrencia de huracanes para la isla de Puerto Rico era de uno cada 21 años. A partir del 1989 la isla sufrió el embate de seis fenómenos tropicales disminuyendo la ocurrencia a uno en menos de tres años, para el periodo comprendido entre 1989-2004.



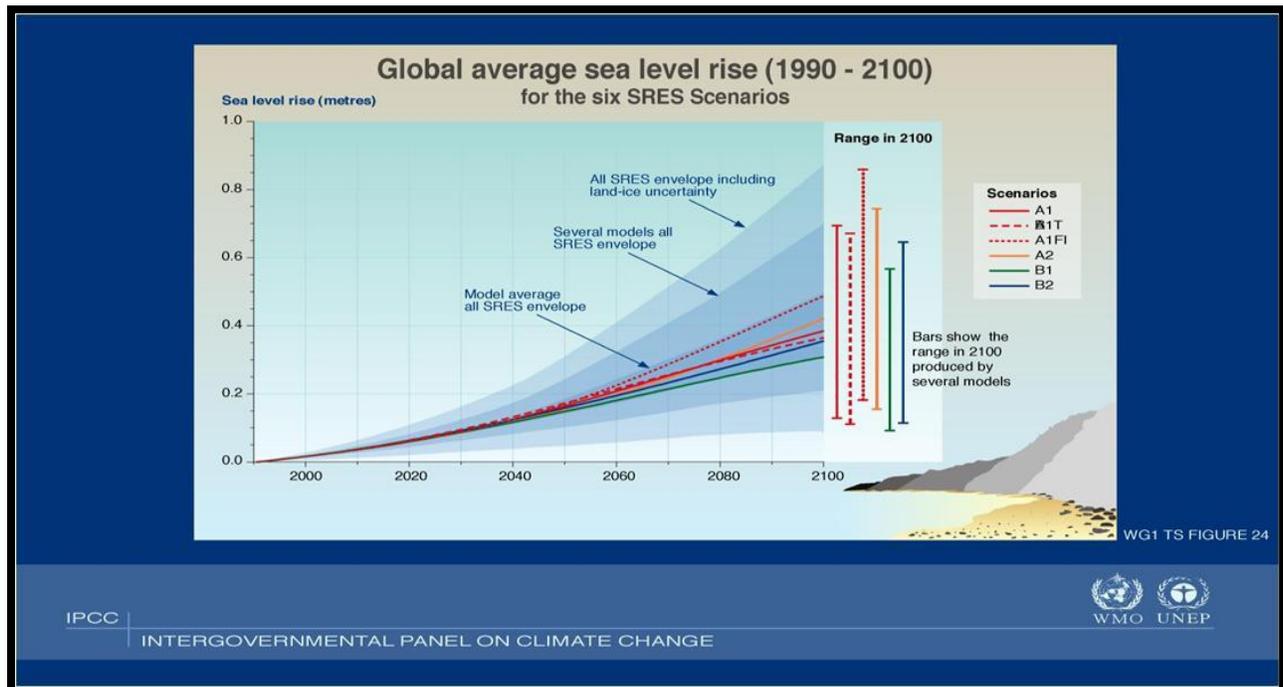
Entre estos podemos mencionar a los llamados Hugo, Georges, Marilyn, Hortencia, Luis y Jeanne. Sin embargo el fenómeno meteorológico que más muerte ha producido en años recientes fueron las lluvias que trajo consigo la depresión (tormenta) Elena en el 1985, seguida por el frente frío que paso sobre la isla en la víspera del Día de Reyes de 1997. Debemos recordar que el huracán Katrina impactó la península de Yucatán siendo un huracán categoría cinco y luego impacto el sur de los Estados Unidos siendo un huracán categoría tres. Por otro lado, el huracán Mitch está asociado a la mayor cantidad de muertes en tiempos modernos asociados a un huracán. Hugo por el contrario sólo sobrepasó territorio norteamericano: Islas Vírgenes, Puerto Rico, Las Carolinas y Virginia. Sin embargo, en términos de pérdidas materiales y humanas fue mucho más devastador que el huracán Andrew. Desde el año 1928 Puerto Rico no sufre los embates de un huracán categoría cinco. El Huracán San Felipe trajo consigo vientos máximos sostenidos de 241 kph en San Juan y una precipitación de 725 mm, representativo del 40% de la precipitación de la isla para ese año. Se desconoce la magnitud de los efectos de un huracán categoría cinco sobre el área de Puerto Rico, sin embargo, una buena muestra puede ser los efectos de Mitch, Katrina y Hugo. Los dos primeros rebasaron la categoría cuatro del huracán Hugo cuando impactaron Centroamérica. El paso de fenómenos de esta magnitud resultarían en un reto para la región Caribeña en todos los niveles.

Una mayor frecuencia e intensidad de huracanes tendría grandes efectos sobre la región, particularmente en la composición y en las poblaciones de especies sensitivas. Especies pionera o secundarias de rápido crecimiento están adaptadas para la regeneración de los bosques luego de un disturbio como un huracán. Las especies pioneras colonizan primero y preparan el terreno para que otras especies de más lento crecimiento y larga vida se puedan establecer y ser las dominantes al lograr alcanzar el alto dosel. El proceso de sucesión ecológica puede ser completamente interrumpido por huracanes secuenciales que no darían tiempo suficiente ni a las especies pioneras de rápido crecimiento ni mucho menos al establecimiento de bosques secundarios. Otros efectos ocurren luego del paso de un huracán por el área habrá un aumento en la temperatura diurna y una disminución en la temperatura nocturna por la ausencia de nubes y polvo.

Aumento en el nivel del mar

El nivel del mar a escala global esta controlado por el clima, los movimientos en la superficie de la Tierra, la rotación de ésta y el efecto de la gravedad. Se espera que el aumento global del nivel del mar se encuentre entre 30 a 100 cm pára el año 2100. Dicho incremento en el nivel del mar deberá acelerarse en las próximas décadas. Aún con reducciones drásticas en las emisiones de contaminantes a la atmósfera, el nivel del mar continuará incrementándose más allá del 2100, a causa del largo tiempo al cual ha estado expuesta la Tierra a la contaminación atmosférica. Esta respuesta térmica del océano, es conocida generalmente como “*el compromiso al aumento del nivel del mar*”.

El aumento en el nivel del mar tiene una gran variedad de efectos sobre los procesos costeros. Además de elevar el nivel del océano, también incrementa todos los procesos costeros que operan en torno al nivel promedio del mar, como los cambios en las mareas, el incremento y la altura del oleaje. Los efectos inmediatos de un aumento en el nivel del mar, por lo tanto, incluyen la inundación y el aumento en la frecuencia y la profundidad, tierra adentro, de las inundaciones en las tierras costeras. Los efectos a más largo plazo incluyen cambios morfológicos, particularmente erosión de las playas y la desaparición de lagunas tanto de agua dulce como salobres.



El calentamiento global tendrá varios efectos biogeofísicos sobre los sistemas costeros. Entre estos se encuentran un aumento en la temperatura del agua de mar u oceánica y un aumento gradual en el nivel del mar. Como consecuencia de esto último se prevén inundaciones, pérdida de humedales, erosión, intrusión de agua salada a los acuíferos confinados y aumento en los niveles freáticos. De otra parte el aumento en las temperaturas de las aguas superficiales puede causar a su vez la decoloración de los corales y la migración de especies costeras hacia latitudes más altas.

Efectos Biofísicos

Impactos Socioeconómicos en:

- el turismo
- los asentamientos humanos
- la agricultura
- el suministro y la calidad de agua dulce
- las pesquerías
- los servicios financieros y
- la salud humana

Estos efectos biogeofísicos tendrán además impactos socioeconómicos directos e indirectos sobre el turismo, los asentamientos humanos, la agricultura, el suministro y la calidad de agua dulce, las pesquerías, los servicios financieros y la salud humana en las zonas costeras.

El aumento en el nivel del mar provocará en las zonas costeras una pérdida del litoral costero debido a la erosión de las costas y un aumento en la sedimentación de las aguas costeras. Ello eventualmente acarreará cambios en la infraestructura y la productividad agrícola e industrial en la región. Por tal razón, el impacto del cambio climático sobre los recursos costeros se puede diferenciar entre su vulnerabilidad natural y su vulnerabilidad socioeconómica. Ambos están relacionados y son interdependientes uno del otro.

Un aumento en el nivel del mar permite que las olas rompan más cerca de la costa, lo que a su vez producirá un aumento en la presión que ejercerá el agua sobre aquellas estructuras costeras de defensa. Por lo tanto, aunque se mantengan constantes la trayectoria, la frecuencia y la intensidad de huracanes y tormentas, el aumento relativo del nivel del mar podría aumentar el período del retorno del agua marítima u oceánica a sus niveles normales. El IPCC concluyó que la intensidad de los ciclones tropicales podría aumentar; si esto ocurre, el poder combinado entre el aumento del nivel del mar y la marejada ciclónica será potencialmente más destructivo que los huracanes del pasado. De otra parte, el aumento relativo del nivel del mar también producirá un aumento en la capacidad de inundación de los ríos.

Las regiones más vulnerables en términos relativos son las regiones de islas del Caribe y las islas pequeñas del Océano Índico y Océano Pacífico. Los aumentos absolutos son más grandes en el sur y sureste de Asia y en la costa de África. El peor escenario lo es para el sur de Asia, donde más de 50 millones de personas podrían estar bajo riesgo de inundación cada año.

Los sistemas naturales tienen la capacidad de responder de forma autónoma a las presiones externas como el calentamiento global. Un humedal sano y sin obstrucciones respondería depositando más sedimento y creciendo verticalmente, llevando el mismo ritmo que el aumento del nivel del mar; esto sería un ejemplo de adaptación autónoma.

En muchos lugares, sin embargo, las actividades humanas han reducido la habilidad natural de un sistema para su adaptación y recuperación. Los sistemas socioeconómicos en zonas costeras también tienen la capacidad de responder autónomamente al cambio climático. Los productores pueden cambiar a cultivos que sean más tolerantes, mudarse de las áreas cada vez más susceptibles a las inundaciones y a la sal, así como las personas pueden mudarse a otras regiones más elevadas.

Cada una de estas estrategias está diseñada para proteger el uso humano de la zona costera y, si son aplicadas apropiadamente, cada una tiene consecuencias diferentes para los ecosistemas costeros. La retirada implica renunciar a la tierra previniendo futuras obras de desarrollo de gran envergadura en áreas costeras que puedan ser afectadas por el aumento en el nivel del mar. La acomodación implica el uso alterado de la tierra, incluyendo respuestas de adaptación tales como la elevación de edificios por encima de los niveles de inundación y la modificación de los sistemas de desagüe. La retirada y la acomodación ayudan a mantener la naturaleza dinámica del litoral y permiten que los ecosistemas costeros migren libremente hacia el interior, y por lo tanto, que se adapten naturalmente.

Por el contrario, la protección mediante barreras fomentará una restricción del litoral costero y la pérdida de hábitat de muchas especies. El uso de esta estrategia implica la defensa de áreas costeras mediante la construcción o el mantenimiento de estructuras defensivas o mediante el mantenimiento artificial de playas y dunas.

Generalmente se utiliza para proteger los asentamientos y la tierra agrícola productiva, pero a menudo implica la pérdida de las funciones naturales del litoral.

Las opciones de adaptación a la intrusión de agua salada en el agua subterránea no son cubiertas explícitamente por las tres opciones genéricas de retirada, acomodación y protección. Sin embargo, existen varias opciones de las cuales no se conocen sus repercusiones a corto ni a mediano plazo. Como por ejemplo: infiltración de agua dulce superficial, la inundación de áreas bajas y el ensanchamiento de áreas donde se encuentran las dunas que sirven como zona de recarga natural para el agua subterránea.

El nivel del mar no cambia la forma del perfil del litoral costero, sólo crea un potencial para la erosión que las olas realizan. Por lo tanto se espera que el ajuste del perfil a los niveles del mar más altos tome más tiempo.

La elevación de olas causadas por tormentas o huracanes incrementa su nivel por el aumento en el nivel del mar. La superficie terrestre estará siendo amenazada por las inundaciones causadas por el aumento del nivel del mar y el oleaje, combinado a su vez con las marejadas ciclónicas y por el caudal de agua que arrastran los ríos durante periodos prolongados de lluvia.

Los humedales costeros son sensibles al aumento del nivel del mar porque su ubicación está íntimamente vinculada con él. Sin embargo, los humedales no son elementos pasivos del paisaje, y su respuesta vertical muestra una respuesta dinámica y no lineal al aumento en el nivel del mar. Por lo tanto, ocurrirán pérdidas sólo por encima de algún umbral en el ritmo del aumento. La evidencia disponible muestra que los humedales que experimentan una pequeña gama de mareas son más vulnerables al aumento relativo del nivel del mar que aquellos que experimentan una mayor gama. Las pérdidas directas de humedales costeros a causa del aumento del nivel del mar pueden ser contrarrestados por la migración interior de los humedales y por la conversión de tierras secas a humedales. A medida que el nivel del mar aumenta, las áreas bajas adyacentes a los humedales pueden llegar a ser ideales para el crecimiento de especies de los humedales. En sitios sin áreas costeras bajas, o en áreas que se protegen para frenar las inundaciones costeras, la migración de los humedales no puede ocurrir, causando lo que se conoce como "la restricción costera".

Conclusiones

Resulta difícil realizar recomendaciones para mitigar los efectos de un fenómeno de alcance global. Sin embargo podemos recomendar el reducir o establecer un tope mundial de las emisiones de gases contaminantes como primer paso. Segundo, concienciar al público sobre los efectos de posibles cambios climáticos inducidos por la contaminación atmosférica. Tercero, adoptar medidas mas estrictas que disminuyan la emisión de gases de efecto invernadero. Cuarto mitigar la abusiva tala de árboles y bosques. Quinto, fomentar la búsqueda de fuentes alternas de energía que sean viables, para que de esta forma podamos disminuir las emisiones de los gases de efecto invernadero en las próximas décadas. Y en sexto lugar, viabilizar los acuerdos internacionales necesarios para calendarizar la eliminación de los clorofluorocarbonos.



Las incertidumbres en las predicciones del aumento del nivel del mar crean una necesidad de evaluar una serie de escenarios dentro de un futuro inmediato. Estos escenarios necesitan abarcar un abanico de cambios probables. Se recomienda evaluar tres niveles de distintos grados de sofisticación, que son: exploración, vulnerabilidad y planificación de las evaluaciones.

La evaluación de exploración se realiza analizando el impacto del aumento del nivel del mar sobre la costa. Se toman en cuenta factores tales como: inundación, erosión y salinización. La evaluación de vulnerabilidad permite llevar a cabo una evaluación más exhaustiva de un área en particular. Su principal meta es producir las recomendaciones sobre las acciones a tomar. Esto incluye reducir vulnerabilidad y la evaluación de los impactos anticipados como también las opciones disponibles de adaptación.

Por último, la evaluación de planificación es el producto de una investigación continua de un área en particular, de los posibles impactos futuros del aumento del nivel del mar en la zona costera. El objetivo de esta última evaluación es integrar todas las posibles respuestas para aminorar la vulnerabilidad y para formular políticas públicas futuras, para integrarlos a los planes de manejo locales.

Tanto el sistema natural como el sistema socioeconómico son dinámicos y se adaptan al cambio. La adaptación autónoma representa la respuesta de adaptación espontánea al aumento del nivel del mar, como por ejemplo, el aumento del crecimiento vertical de los humedales del litoral dentro del sistema natural o los ajustes del precio del mercado dentro del sistema socioeconómico. La adaptación planificada, puede reducir la vulnerabilidad a través de una serie de medidas previamente planificadas.

Desgraciadamente, esta generación tiene la encomienda histórica de tomar decisiones que afectarán el futuro de la humanidad. Sí se detiene hoy las emisiones de contaminantes a la atmósfera sus efectos se estarán sintiendo hasta mediados del actual siglo. Por el contrario, si no se detiene, no se sabe a ciencia cierta que nos deparará el futuro.

Referencias

- Ayarza, C., J. (2006). *El Polvo del Sahara*. Presentación realizada para estudiantes doctorales en Salud Pública, Escuela Graduada de Salud Pública, Recinto de Ciencias Médicas, Universidad de Puerto Rico, San Juan.
- Boletín trimestral sobre las ciencias exactas y naturales <http://www.unesco.org>
- Brigman, (1990). *Global Air Pollution: Problems for 1990*. Belhaven Press, London.
- Danielson, E., W., Levin, J., & E., Abrams. (2003). *Meteorology*, second ed. Mcgraw Hill. Boston
- De Nevers, N. (1998). *Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire*. Mcgraw Hill, México
- Dodd R. & Rafia Z., A. (2001). *Evolutionary genetics of mangroves: continental drift to recent climate change*. *Trees* (2002) 16:80-86.
- Field C., D. (1995). *Impact of expected climate change on mangrove*. *Hydrobiology* 295:75-81.
- Casarett & Doull's. *Toxicology: The Basic Science of Poisons*. 6th, 5th, and 4th editions. Curtis D. Klaassen Ed. McGraw-Hill.
- Godish, (1991). *Air Quality*. 2nd. Edition. Lewis Publishers, inc.
- Harvell, C.D. , Mitchell, C.E, Ward J. R, Altizer S., Dobson, A. P., Ostfel, R. S. & Samuel, M.D., (2002). *Climate Warming and Disease Risks for Terrestrial and Marine Biota*. *Science* (296) 2158-62.
- IPCC- Climate Change 2007- Summary for Policymakers
<http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>
- Nebel, B., J. & R., T., Wright. (1999). *Ciencias Ambientales: Ecología y desarrollo sostenible*, sexta edición. Pearson Educación. México.
- PNUMA- Oficina Regional para América Latina y el Caribe- *El cambio climático en América Latina y el Caribe*. <http://www.pnuma.org>
- Recursos costeros - Capitulo_5_Recursos_Costeros.doc
Repercusiones por ascenso del nivel del mar en el litoral del Golfo de México
<http://ccaunam.atmosfcu.unam.mx/cambio/libro/costas.pdf>
- Sanford, E. (1999). *Regulation of Keystone Predation by Small Changes in ocean Temperature*. *Science* (283) 2095-97.

Scatena, F.N. (1991). *Physical aspects of hurricane Hugo in Puerto Rico*. Biotrópica 23 (4a):317-323.

Schafer, W. Global History: Historiographical Feasibility and Environmental Reality. En B. Mazlish & R. Buultjens, eds. *Conceptualizing Global History*. Boulder: Westview Press. 1993.

Tollison, (1998). *Despejando el Aire*. Lexington Books