



## **EL CAMBIO CLIMATICO Y SUS POSIBLES EFECTOS EN LA BIODIVERSIDAD**

Walter Fernández

Laboratorio de Investigaciones Atmosféricas y Planetarias

Escuela de Física y Centro de Investigaciones Geofísicas

Universidad de Costa Rica

Academia Nacional de Ciencias



## Introducción

El término “cambio global” se refiere a las interacciones de los procesos físicos, químicos y biológicos que regulan los cambios en el funcionamiento del sistema Tierra, incluyendo los mecanismos por los cuales estos cambios son influenciados por la actividad humana. La alteración de los mecanismos que regulan el comportamiento atmosférico implica cambios en el clima, lo cual contribuye, consecuentemente, al cambio global. Aún cuando los cambios en la composición atmosférica presentan la mayor amenaza a la estabilidad global del ambiente, esto constituye solamente un aspecto del cambio global.

Desde hace varios años se ha divulgado información sobre la reducción del ozono atmosférico y el incremento de los gases que producen efecto invernadero en la atmósfera (lo que conlleva un incremento de la temperatura). El término cambio climático se refiere a las tendencias observadas en el comportamiento atmosférico y los patrones climáticos, durante períodos de tiempo de al menos varios años.

El estudio de la variabilidad climática, en escalas de tiempo de estacionales a interanuales, es muy importante, pues muchas de las anomalías climáticas resultan en fuertes impactos socio-económicos. Para entender, modelar y predecir las fluctuaciones climáticas locales y regionales, se deben considerar las anomalías en la circulación atmosférica de gran escala y las anomalías en la superficie del mar. En este sentido es muy importante considerar los efectos del fenómeno de “El Niño-Oscilación del Sur (ENOS)”, el cual produce alteraciones (todavía no del todo cuantificadas ni entendidas) en los patrones de la precipitación lluviosa y la temperatura en muchos países, incluyendo Costa Rica. Los efectos de los eventos ENOS en Costa Rica han sido discutidos por Fernández y Ramírez [1] y

no se tratan en este trabajo.

En este artículo, el cual está basado en gran parte en el trabajo de Fernández [2], se describen las características del cambio climático y sus posibles efectos en la biodiversidad. No obstante, es importante tener presente que el cambio climático puede afectar también la salud humana y la productividad económica.

### El Sistema Climático

Hay cuatro componentes en el sistema climático que interactúan entre sí: la atmósfera, los océanos, la criosfera y la tierra junto con su biomasa.

El sistema climático incluye la interacción de sus componentes (aire, mar, hielo y tierra) con la radiación solar, la cual proporciona casi toda la energía que maneja el sistema. Las variaciones de los constituyentes gaseosos y en forma de partículas de la atmósfera, junto con los cambios en la posición de la Tierra en relación con el Sol y con las variaciones de la actividad solar, actúan para modificar la cantidad y distribución de la energía radiante recibida por el sistema. La porción no reflejada de la energía solar maneja la circulación atmosférica, la cual está a su vez ligada, por medio del esfuerzo del viento y la transferencia de calor, a la circulación de los océanos. Tanto la atmósfera como los océanos son influenciados por la extensión y el grosor del hielo que cubre la tierra y el mar, así como por la misma superficie. Debido a que cada uno de estos componentes tiene un ámbito diferente de tiempos de respuesta, el sistema climático debe ser visualizado como un conjunto que evoluciona continuamente, con algunas partes del sistema atrasadas u otras partes adelantadas [3].

### Cambios climáticos

Hay muchos procesos que pueden potencialmente causar fluctuaciones en el clima, los cuales se pueden agrupar en tres clases: 1) Los procesos internos, que son los debidos a las interacciones entre los componentes del sistema climático, 2) los procesos externos, debidos a causas externas como actividad volcánica, procesos tectónicos, variaciones en la órbita de la Tierra, variaciones en la actividad solar, etc. y 3) las actividades humanas (uso de la tierra, uso de ciertos compuestos químicos, contaminación, etc.).

Estos procesos actúan en escalas de tiempo muy diferentes; por ejemplo, las variaciones en la órbita de la Tierra son importantes en un intervalo entre 10,000 y 100,000 años aproximadamente, mientras que los efectos de la actividad humana son particularmente importantes en un intervalo entre 1 y 150 años, pero que se puede extender a varios cientos de años. Otros procesos, como la actividad volcánica, actúan, según las circunstancias, en un intervalo muy amplio de tiempo (entre 1 año y cien millones de años).

Se han podido relacionar los episodios de glaciación con cambios en la órbita de la Tierra y sus características axiales (especialmente cambios en la excentricidad que ocurren con un período de 100,000 años), los cuales determinan la distribución estacional y latitudinal de la radiación solar interceptada por la Tierra. De hecho, los cambios climáticos más marcados de todas las épocas glaciales, han ocurrido aproximadamente cada 100,000 años, en el último millón de años o algo así [3].

Las variaciones de los parámetros orbitales indican -y la tendencia seguida por la temperatura en los últimos 10,000 años sugiere- que el clima de la Tierra ha experimentado ya las

temperaturas mayores (más cálidas) del período interglacial presente y que, en los últimos 6000 años se ha ido enfriando gradualmente hacia una nueva época glacial. A no ser por el cambio climático inducido por el hombre, esta tendencia hacia un enfriamiento a largo plazo se esperaría que continúe por varios miles de años; eventualmente resultaría en un reestablecimiento de los extensos glaciares continentales en el Hemisferio Norte [3].

### Impacto de la actividad humana en el clima

El impacto de la actividad humana en el clima puede darse en cambios locales o cambios globales.

Entre las causas para los cambios locales se pueden citar:

1) *Deforestación*. Esto produce: a) incremento del albedo superficial (fracción de la radiación solar que se refleja en la superficie y se va nuevamente al espacio), b) incremento de la velocidad del viento en superficie (como consecuencia de la disminución de la rugosidad), c) algún cambio en la temperatura y humedad en la capa límite inferior, y ch) algún cambio en la humedad del suelo, evaporación y escorrentía de los ríos [4,5]. En los trópicos, la deforestación (con el cambio en el albedo) ejerce un impacto significativo en el balance regional [6,7]. Además, hay posiblemente al menos un incremento temporal en el dióxido de carbono atmosférico, liberado por la quema o la descomposición de la biomasa del bosque [5].

2) *Irrigación artificial* (aplicada en zonas áridas por siglos). Incrementa la evaporación desde la superficie, lo cual causa un decrecimiento de la temperatura y un aumento de la humedad relativa.

3) *Drenajes de suelos sobresaturados*. La humedad del suelo se reduce, su temperatura aumenta y la evaporación decrece.

4) *Construcción de embalses de tamaño apreciable*. Esto produce: a) incremento de la evaporación, b) reducción en los cambios diurnos de temperatura, y c) incremento de la velocidad del viento, debido a la disminución de la rugosidad en la superficie.

Este último punto se pudo comprobar en un estudio sobre el embalse del Arenal en Costa Rica [8].

5) *Incremento de la producción de energía*. Casi todos los componentes del consumo presente de energía por el hombre, tales como petróleo, carbón, gas natural y energía atómica, son fuentes de calor independientes de las transformaciones de la energía radiativa solar. Cálculos muestran que esta fuente de calor incrementa la temperatura media mundial del aire en superficie en cerca de 0.01 K. Aunque esta cantidad es despreciable, hay que tener en cuenta la gran variabilidad en la distribución de las fuentes de energía creadas por el hombre. Las observaciones indican que la temperatura media del aire en ciudades grandes es, a menudo, varios grados más alta que en los alrededores [9].

La consecuencia climática global más importante, debido a la actividad humana, es la que se llama comúnmente "el calentamiento global" y es el aspecto que se va a tratar a continuación. Como punto de partida, se describirá primero el balance global de energía, incluyendo el efecto invernadero.

### El balance global de energía: el efecto invernadero

Si se considera un promedio de muchos años, se tiene que la razón a la cual un planeta emite energía hacia el espacio

debe balancear la razón a la cual el planeta recibe energía de todas las fuentes. A partir de este balance, se obtiene una temperatura para cada planeta que se llama la "temperatura efectiva del planeta". Para la Tierra es cerca de 255 K o  $-18^{\circ}\text{C}$  y es diferente de la temperatura de la superficie, debido al llamado efecto invernadero.

Cada cuerpo emite radiación de acuerdo con su temperatura. La curva espectral de la radiación emitida por el Sol tiene su máximo valor en longitudes de onda que corresponden a la luz visible. La atmósfera terrestre es moderadamente transparente en el visible y, por lo tanto, gran parte de la radiación solar puede pasar a través de la atmósfera (aire y nubes) sin ser absorbida. No toda la radiación solar interceptada por la Tierra es absorbida; una fracción de la energía incidente es reflejada de nuevo al espacio por el aire, las nubes y la superficie (a esta fracción se le llama el albedo del planeta).

En el caso de la Tierra, de la energía solar incidente en el tope de la atmósfera ( $342 \text{ W/m}^2$ , promedio anual), cerca del 22 por ciento es absorbida por el aire y las nubes y cerca de un 31 por ciento es reflejada de nuevo al espacio por el aire, las nubes y la superficie (o sea, el albedo de la Tierra es cerca del 31 por ciento). El restante 49 por ciento de la radiación solar incidente es absorbida por la superficie terrestre [7]. Ambos, la atmósfera (aire y nubes) y la superficie emiten la energía que han absorbido; sus curvas espectrales, sin embargo, tienen sus máximos valores en el infrarrojo (longitud de onda larga). Ahora bien, ciertos constituyentes menores de la atmósfera terrestre, de los cuales el vapor de agua es el más importante, absorben fuertemente en el infrarrojo, por lo que la atmósfera es muy opaca a esa radiación de onda larga.

¿Qué ocurre cuando la atmósfera absorbe la radiación emitida desde la superficie terrestre? La atmósfera no puede normalmente acumular energía, ya que se volvería más y más caliente. Al contrario, emite radiación a la misma rapidez con que la absorbe. La radiación es reemitida en todas direcciones y una parte sustancial de ella es interceptada y absorbida por la superficie; otra parte se va al espacio. Así, la superficie terrestre es calentada, no sólo directamente por la radiación solar, sino también por la radiación infrarroja emitida por la atmósfera hacia la superficie. Por esta razón, la superficie debe irradiar más energía de la que recibe directamente del Sol y puede tener una temperatura media anual de cerca de 288 K o  $15^{\circ}\text{C}$ , la cual excede a su temperatura efectiva en 33 K aproximadamente. En la superficie, así como en la atmósfera y su tope, debe haber un balance de energía, esto es, la energía que llega debe ser igual a la que sale.

El fenómeno por el cual la temperatura superficial de la Tierra (o de otro planeta) aumenta, es porque la atmósfera es transparente a la radiación solar pero opaca a la radiación infrarroja, fenómeno que se conoce como efecto invernadero [10]. Este produce un calentamiento de la atmósfera inferior y de la superficie de la Tierra y un enfriamiento compensatorio de la alta estratosfera. En la atmósfera terrestre, el efecto invernadero se debe principalmente a la absorción de la radiación infrarroja por el vapor de agua, las nubes y el dióxido de carbono, con una contribución más pequeña (un 5 por ciento) de los gases ozono, óxido de nitrógeno y metano. Los gases antropogénicos están empezando a contribuir apreciablemente [7].

Las nubes incrementan la opacidad de la atmósfera a la radiación infrarroja, contribuyendo así al efecto invernadero (calentamiento), pero su albedo tiene un efecto de enfriamiento.

El problema es aún más complicado, debido a que los procesos radiativos en las nubes dependen de su microfísica (distribución del tamaño de las gotas, contenido de agua líquida). Ramanathan y colaboradores [7] han encontrado, usando mediciones tomadas desde satélites (del "Experimento del Balance de Radiación de la Tierra"), que el efecto neto del forzamiento radiativo de las nubes, sobre la mayor parte del planeta, es de enfriamiento.

### El Calentamiento Global

La absorción de los gases no se distribuye uniformemente sobre un intervalo amplio de longitudes de onda, sino que se concentra en bandas. Los gases debidos a la actividad humana (principalmente dióxido de carbono, metano, clorofluorocarbonos y óxido de nitrógeno) absorben en regiones del espectro donde el vapor de agua tiene una absorción débil. Por lo tanto, su efecto es particularmente importante [11].

Cantidades enormes de dióxido de carbono entran cada año a la atmósfera, como consecuencia de la quema generalizada de combustibles fósiles (carbón, petróleo o gas natural). Debido al constante intercambio de dióxido de carbono entre la atmósfera y el océano (el cual puede absorber una gran cantidad de dióxido de carbono), solamente parte del dióxido de carbono antropogénico permanece en la atmósfera. Sin embargo, no hay duda alguna de que la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera ha estado aumentando de año a año. Por ejemplo, las emisiones de dióxido de carbono crecieron a una razón de 4.3 por ciento por año desde 1860 a 1970 y a una razón de 2.8 por ciento de 1970 a 1979 [6].

Debido al aumento del dióxido de carbono se ha experimentado, desde finales del siglo pasado, un incremento de la temperatura media mundial en superficie de unos 0.5 K

[12]. Este aumento ha provocado una elevación del nivel medio del mar de cerca de 10cm en los últimos 100 años [13], debido parcialmente a la expansión térmica de los océanos y parcialmente al derretimiento de los glaciares de latitudes medias [14, 15]. No obstante, durante este mismo período, hubo variaciones de la temperatura media, debidas a causas naturales, especialmente erupciones volcánicas -las cuales forman una capa de partículas de sulfatos en la estratosfera, que difunden la radiación-. Las magnitudes de dichas variaciones fueron, en apariencia, lo suficientemente grandes como para ocultar, en algún momento, el calentamiento debido al aumento del dióxido de carbono [16]. En efecto, la temperatura media en algunas regiones del Hemisferio Norte descendió entre 1940 y 1965 [17]. Esto motivó en algunos investigadores escepticismo hacia el concepto del calentamiento debido al aumento del dióxido de carbono.

La función de los gases en trazas, distintos del dióxido de carbono, que producen efecto invernadero, es casi tan importante como la del dióxido de carbono. Al analizar el impacto de esos gases en el conjunto total del efecto invernadero, se debe considerar no sólo la magnitud de la concentración, sino también su importancia radiativa. Por ejemplo, si se añadiera una cantidad igual de moléculas de metano y de dióxido de carbono, el efecto radiativo del metano sería 25 veces mayor [18]. Se estima que el dióxido de carbono contribuye con un 60 por ciento al efecto invernadero debido a la actividad humana, el metano con un 25 por ciento y los clorofluorocarbonos con un 10 por ciento [11]. Desde el punto de vista radiativo, se calcula que si se mantiene la tendencia actual, las concentraciones combinadas del dióxido de carbono y los otros gases que producen efecto invernadero, tendrían un impacto, a mediados del próximo siglo, equivalente a la duplicación del dióxido de carbono en relación a su valor correspondiente a la era

preindustrial [19,20].

A pesar de que otros factores, tales como los cambios en la concentración de aerosoles y en la vegetación, ejercen una influencia sobre el clima; se considera que la principal causa del cambio climático para el próximo siglo, será la debida a los gases que producen efecto invernadero.

El ozono, además de su papel como un gas que produce efecto invernadero, desempeña también otra función sumamente importante: absorbe fuertemente la radiación ultravioleta proveniente del Sol. Debido a que esta radiación es muy dañina para la vida, la modificación de la capa de ozono, por parte de la actividad humana, es un aspecto de gran preocupación actualmente.

Es importante considerar cómo responde el sistema climático a cambios iniciales en la temperatura del aire comparativamente pequeños, que toman lugar sobre territorios extensos. Por ejemplo, el albedo en las regiones cubiertas con hielo y nieve es, en promedio, aproximadamente dos veces mayor que aquél de las regiones no cubiertas de hielo o nieve. Entonces, la cobertura de hielo reduce apreciablemente la absorción de la radiación solar y, como resultado, baja la temperatura del aire en la región congelada. Por lo tanto, la cobertura de hielo no es solamente la consecuencia de condiciones climáticas frías, sino también en alguna extensión, la causa de ellas. En este contexto, una reducción del área congelada puede producir un calentamiento climático, lo cual a su vez reduciría aún más el área congelada [9].

### **Resultados obtenidos con modelos en relación al calentamiento global**

Se han publicado diversos estudios de experimentos

con modelos climáticos; su propósito es determinar la forma mediante la cual el sistema climático responde a un aumento del dióxido de carbono (o a una acción equivalente, en la cual se considera el efecto combinado de los gases que producen efecto invernadero).

En lo que respecta a la situación equivalente a duplicar el valor del dióxido de carbono precedente al año 1900, la cual se podría dar cerca de mediados del próximo siglo, los experimentos con los modelos sugieren lo siguiente [11,15-16,19-21]:

1) Un aumento de la temperatura media mundial en superficie de 1.5 a 4.5 K; esto provocaría un ascenso de 20 a 140 cm en el nivel del mar [20], lo cual tendría efectos directos importantes en las zonas costeras y en los estuarios. Se ha mencionado también el intervalo entre 3.5 y 5.2 K para el aumento de la temperatura media mundial en superficie [15,18]. Rowntree [11] señala que -aunque la respuesta básica es un calentamiento global promedio de cerca de 1.2 K, para una duplicación de dióxido de carbono- la inclusión del vapor de agua y de las realimentaciones debidas a la nieve-hielo incrementan la respuesta a cerca de 2.2 K, mientras que las realimentaciones debidas a las nubes la pueden incrementar a 5 K, o reducirla a menos de 2 K.

2) Un aumento de la temperatura de la superficie en el Artico de 6 a 7 K [19].

3) Una disminución de la temperatura media mundial de la estratosfera superior (por encima de los 30 km) de 6 a 10 K [13]; entre 20 y 30 km, la disminución es de 2 a 8 K [19].

4) Un aumento de la temperatura de la superficie en los trópicos menor de 2 K [16,19].

5) Una disminución de la humedad del suelo en la parte central de los continentes, alrededor de la latitud 35-50°, especialmente en primavera y en verano; algún aumento en la humedad del suelo en los subtrópicos [16].

Los modelos climáticos actuales no pueden proporcionar estimaciones fiables de los cambios climáticos en una escala regional [18]. En cuanto a estos cambios climáticos regionales, la declaración de una conferencia del PNUMA/OMM/CIUC sobre el tema (celebrada en Villach, Austria, en octubre de 1985) señala: "No se ha podido todavía proceder a la modelación segura de los cambios climáticos a escala regional. No obstante, las diferencias entre los valores correspondientes a las regiones y las medias mundiales muestran que el recalentamiento podría ser más importante en las latitudes elevadas que en las regiones tropicales hacia finales del otoño y durante el invierno; que la escorrentía normal media podría aumentar en latitudes elevadas y las sequías estivales ser más frecuentes en los continentes situados en las latitudes medias del Hemisferio Norte. En las regiones tropicales, los aumentos de temperatura deberían ser inferiores al aumento medio mundial, pero sus repercusiones sobre los ecosistemas y sobre el hombre podrían acarrear consecuencias más graves. Hay el riesgo de que la evapotranspiración potencial se intensifique en la zona tropical, en su conjunto, y de que las precipitaciones de origen convectivo aumenten en las regiones tropicales húmedas" [20].

### **Posibles efectos del cambio climático en la biodiversidad**

El cambio climático tendrá efectos significativos en la biodiversidad o diversidad biológica (diversidad de vida en todas sus formas), debido a que las diferentes especies son

sensitivas a la temperatura, la lluvia y el cambio de dióxido de carbono. Una discusión amplia sobre estos efectos se encuentra en un libro producido por el "World Wide Fund (WWF)" y escrito por Markham, Dudley y Stolton [22].

El calentamiento global implica un aumento en el nivel del mar, aguas más cálidas y perturbaciones en el ciclo hidrológico, e incluso un posible aumento en la frecuencia e intensidad de los ciclones tropicales [23,24], lo que en conjunto tiene un impacto significativo en los ecosistemas marinos y costeros [25,26], particularmente en los arrecifes coralinos y los manglares. Los arrecifes coralinos son ecosistemas de una gran diversidad biológica y los manglares constituyen un ecosistema único en la interfase entre la tierra y el mar; ambos están actualmente siendo seriamente afectados en muchos lugares por la actividad humana. Los cambios en los ecosistemas costeros y estuarinos tienen consecuencias económicas muy importantes. El principal impacto del cambio climático, en los ecosistemas marinos, puede ser una alteración de la productividad primaria a través de los efectos en el fitoplancton. Parece ser que en muchas áreas, el calentamiento de las aguas resultaría en un decrecimiento de fitoplancton [22].

El estudio de los efectos del incremento de la radiación ultravioleta en los ecosistemas, debido a la reducción de la concentración de ozono por la actividad antropogénica, es de gran importancia, no sólo en latitudes altas sino también en las regiones tropicales. Se ha sugerido que un incremento de la radiación ultravioleta en la superficie puede inhibir el crecimiento de fitoplancton [22], pero este tema es aún muy controversial. Una reducción de fitoplancton tendría efectos en un amplio rango de la vida marina.

Los cambios en los patrones de lluvia y las consecuentes

variaciones en la humedad del suelo pueden afectar muchos sistemas de bosques. Los ecosistemas de las regiones montañosas albergan una gran variedad de plantas y animales. En el pasado algunos ecosistemas (por ejemplo los bosques tropicales) se han adaptado a cambios climáticos, pero esta adaptación la han logrado en períodos de tiempo largos (al menos cientos o miles de años). El calentamiento global inducido por la actividad humana requeriría de adaptaciones en un período de tiempo mucho más corto.

Los efectos del cambio climático pueden producir transformaciones en los ecosistemas, a través de la dispersión o migración de las especies, y un decrecimiento neto de la diversidad biológica, ya que muchas especies serían incapaces de emigrar suficientemente rápido a climas más apropiados [27,28], sobre todo cuando los efectos del cambio climático se suman a la alteración producida por la actividad humana en muchos habitats. El resultado podría ser la extinción de varias especies, sin que se pueda decir cuantas, pues muchas de ellas aún no han sido descritas. Algunas especies, no obstante, podrían beneficiarse de los cambios [22]. Algunas implicaciones del calentamiento global para Latinoamérica han sido discutidas por Castro [29].

La biodiversidad de la Tierra está concentrada principalmente en las regiones tropicales, siendo Costa Rica una de las regiones con mayor diversidad biológica de nuestro planeta. Es por esto que la biodiversidad y todos los factores que la puedan alterar, como el cambio climático, deben constituir un tema prioritario en los planes de desarrollo de nuestro país.

### Comentarios finales

En las estrategias de conservación de la biodiversidad

se deben incluir las consecuencias del cambio climático, lo que requiere de investigación científica que permita cuantificar dicho cambio climático y realizar pronósticos confiables. Esto implica adquirir un mejor conocimiento de las interacciones océano-atmósfera-tierra, incluyendo el papel de los ecosistemas tropicales en los ciclos biogeoquímicos y los efectos de la deforestación y de las prácticas del uso de la tierra, lo que a su vez tiene impacto en la disponibilidad de los recursos hídricos. En el caso de Costa Rica es muy importante implementar modelos numéricos de mesoscala (escala de 100 a 1000 km), capaces de simular circulaciones como las brisas de mar y tierra, de valle y de montaña, así como la interacción del flujo de aire con las montañas. El estudio de estos procesos es fundamental para luego utilizar dichos modelos en estudios climáticos y obtener de esta forma estimaciones más confiables del cambio climático a nivel local. Por otro lado, se requiere de una base de datos meteorológicos convencionales -con la que cuenta el Instituto Meteorológico Nacional, pero que debe complementarse con datos de otras fuentes-, que permita estudiar las tendencias en el clima local. Las universidades, así como las instituciones gubernamentales y privadas relacionadas con aspectos del cambio global, deben apoyar fuertemente la investigación científica que resulte en un mejor entendimiento de los procesos atmosféricos que afectan a Costa Rica y, en general, aquellas actividades que tengan como objetivo un mejor conocimiento del cambio global en Costa Rica.

El principal factor para atacar los efectos del cambio climático es reducir las emisiones de los gases que producen efecto invernadero y de las sustancias que afectan la capa de ozono, por lo que se deben apoyar las convenciones y tratados internacionales para tal fin. Además, se deben elaborar estrategias de conservación de la biodiversidad en el contexto del cambio climático.

Como se puede apreciar, la magnitud del problema es tal que se requiere de la cooperación internacional, para implementar medidas que regulen el impacto del hombre en el clima y, en general, en el medio ambiente. Se debe participar en los programas que tienen como objetivo un mejor conocimiento del cambio global, como el Programa Internacional de la Geosfera-Biosfera. En este sentido, a nivel regional, es muy importante la creación del "Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global", cuya agenda científica se deberá concentrar en los siguientes tópicos: 1) Ecosistemas tropicales y ciclos biogeoquímicos, 2) impactos del cambio climático en la biodiversidad, 3) El Niño-Oscilación del Sur y variabilidad climática, 4) interacciones océano/atmósfera/tierra en las Américas intertropicales, 5) procesos oceánicos, costeros y estuarinos en zonas templadas, 6) ecosistemas terrestres en zonas templadas y 7) procesos en latitudes altas. La investigación en estos temas será desarrollada por centros o laboratorios de investigación en los diferentes países de las Américas.

### Referencias

- [1]. Fernández, W. y P. Ramírez. El Niño, la Oscilación del Sur y sus efectos en Costa Rica: una revisión. *Tecnología en Marcha*, 11(1), 3-10. 1991.
- [2]. Fernández, W. Cambios climáticos: el calentamiento global. *Tecnología en Marcha*, 11(2), 11-22. 1991.
- [3]. Bergman, K.H., A.D. Hecht y S.H. Schneider. Climatic models. *Physics Today*, 34(10), 44-51. 1981.
- [4]. Dickinson, R.E., ed. *The Geophysiology of Amazonia: Vegetation and Climate Interactions*. Wiley, New York, 1987.
- [5]. Henderson-Seller, A.; R.E. Dickinson y M.F. Wilson.

Tropical deforestation: important processes for climate models. *Climatic Change*, 13(1), 43-67. 1988.

- [6]. WCP. On the assessment of the role of CO<sub>2</sub> on climate variations and their impact. *World Climate Programme*, Geneva, 1981.
- [7]. Ramanathan, V.; B.R. Barkstrom y E. Harrison. Climate and the Earth's radiation budget. *Physics Today*, 42(5), 22-32. 1989.
- [8]. Fernández, W.; R.E. Chacón y J.W. Melgarejo. Modifications of air flow due to the formation of a reservoir. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25, 982-988. 1986.
- [9]. Budyko, M.I. The future climate. *EOS*, 53(10), 868-874. 1972.
- [10]. Goody, R.M. y J.C.G. Walker. *Atmospheres*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 150 p., 1972.
- [11]. Rowntree, P.R. Estimates of future climatic change over Britain. Part 1: Mechanisms and models. *Weather*, 45(2), 38-42. 1990.
- [12]. Hansen, J. y S. Lebedoff. Global surface air temperatures: update through 1987. *Geophysical Research Letters* 15(4): 323-326. 1988.
- [13]. OMM. El estado actual y las tendencias recientes del clima del mundo. *Boletín de la OMM*, 39(1), 27-30. 1990.
- [14]. Wigley, T.M.L. y S.C.B. Raper. Thermal expansion of sea water associated with global warming. *Nature*, 320, 127-131. 1987.

[15]. Rowntree, P.R. Estimates of future climate change over Britain. Part 2: Results. *Weather*, 45(3), 79-89. 1990.

[16]. Kellogg, W.E. Identificación del cambio climático inducido por el aumento del anhídrido carbónico y otros gases en trazas en la atmósfera. *Boletín de la OMM*, 32(1), 26-37. 1983.

[17]. Agee, E.M. Present climatic cooling and a proposed causative mechanism. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 61(11), 1356-1367. 1980.

[18]. PMIC. Cambio climático: Una declaración del conocimiento actual y de las prioridades de investigación en el PMIC. *Boletín de la OMM*, 39(1), 34-38. 1990.

[19]. Manabe, S. y R.T. Wetherald. On the distribution of climate change resulting from an increase in CO<sub>2</sub> content of the atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, 37, 99-118. 1980.

[20]. OMM. La función del anhídrido carbónico y de otros gases que producen efecto de invernadero sobre las variaciones climáticas y las repercusiones de estas variaciones. *Boletín de la OMM*, 35(2), 137-141. 1986.

[21]. Rowland, F.S. y I.S.A. Isaksen, eds. *The Changing Atmosphere*. Wiley, New York, 1988.

[22]. Markham, A.; N. Dudley y S. Stolton. *Some Like It Hot*. WWF International CH-1196 Gland, Switzerland, 1993.

[23]. Emanuel, K.A. The dependence of hurricane intensity on climate. *Nature*, 326, 483. 1987.

[24]. Broccoli, A. y S. Manabe. Will global warming increase the frequency and intensity of tropical cyclones? *Geophysical*

*Research Letters*, 17(11), 1917-1920, 1990.

[25]. Bardach, J.E. Global warming and the coasta zone. *Climatic Change* 15, 117-150, 1989.

[26]. Vellinga, P. y S.P. Leatherman. Sea level rise, consequences and policies. *Climatic Change* 15, 175-189, 1989.

[27]. Davies, M.B. Lags in vegetation response to greenhouse warming. *Climatic Change* 15, 75-82, 1989.

[28]. Peters, R.L. y J.D.S. Darling. The greenhouse effect and nature reserves. *Bioscience* 35, 707-717, 1985.

[29]. Castro, G. Global warming: causes, consequences, and some implications for Latin America. *Interciencia* 16(3), 119-124, 1991.