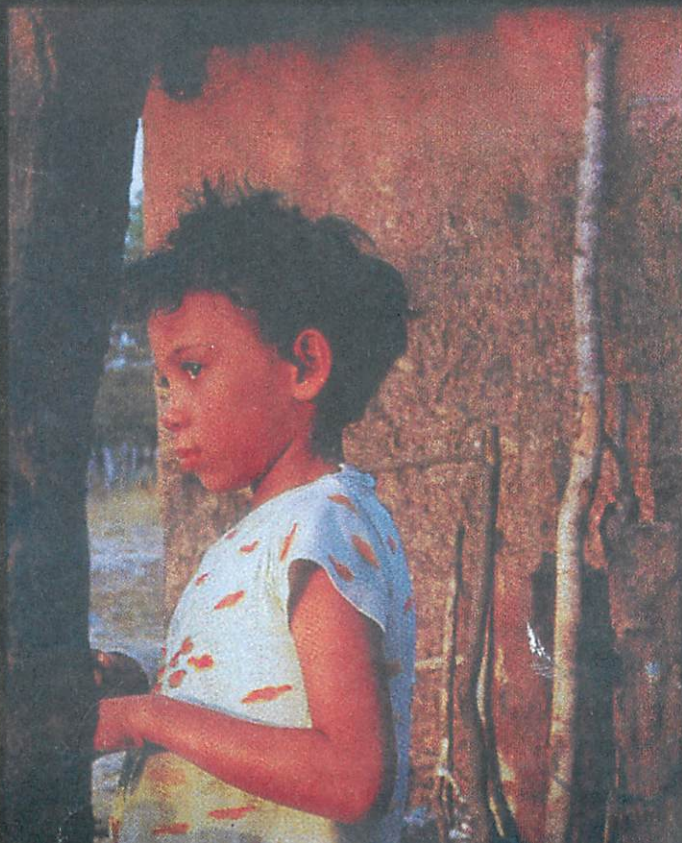


Desarrollo Sostenible

La opción para Costa Rica

Academia Nacional de Ciencias



Presentación

"Pobreza no es solo total inanición. Es también privación material, social, participatoria y cultural, así como carencia de derechos humanos. La pobreza no continuará para siempre debido a la inherente inestabilidad de los sistemas y a la politización de los pobres".

UDAYAKUMAR
"The futures of the poor"
Futures 27(3):339-351. 1995

Pobreza y desarrollo sostenible son excluyentes y por ello el hermoso pensamiento de Udayakumar orientó el *Simposio sobre el programa 21 de la cumbre de la Tierra: las perspectivas para Costa Rica*, que organizara la Academia Nacional de Ciencias en noviembre de 1995 y cuyas Memorias publicamos hoy, bajo el título **DESARROLLO SOSTENIBLE: LA OPCIÓN PARA COSTA RICA**.

El hecho de que humanidad y naturaleza son polos opuestos mediatizados por la cultura y que desde la perspectiva cultural existe oposición entre tecnología-economía y hábitat fue un concepto enfatizado por diversos participantes. Para la tecnoeconomía el hábitat constituye el conjunto de recursos naturales utilizables; no obstante, el hábitat requiere ser conservado y preservado. Del tipo de relaciones que se establezcan entre ellos emergen dos modelos de desarrollo: crecimiento económico definido como incremento en producción y consumo y desarrollo económico que implica aumento en bienestar humano, pero no necesariamente un aumento en el consumo. Las opciones de desarrollo son claras y es una prerrogativa de la sociedad escoger su modelo de desarrollo. Nuestro país escogió como norte el modelo de desarrollo sostenible, en el cual la calidad de vida de los individuos es el objetivo central y el cambio sociocultural y económico se realiza a través de la contribución que sus miembros, respetando las limitaciones impuestas por el hábitat y el compromiso con las generaciones futuras.

.....

Un proyecto de desarrollo nacional compartido, en que la educación cumpla su función de instrumento de cambio sociocultural, la relación entre los sistemas humanos socioculturales, económicos y ecológicos mantenga el equilibrio y el desarrollo de la capacidad científica y tecnológica se oriente no solo a generar riqueza sino a aliviar la pobreza, constituyen las premisas fundamentales que planearon los intelectuales costarricenses que participaron como expositores en el evento.

*La construcción de una sociedad que garantice la igualdad en las oportunidades y las responsabilidades, en la cual no exista **privación material, social, participatoria y cultural** es el reto que enfrentan los políticos de hoy porque "la pobreza no continuará para siempre debido a la inherente inestabilidad de los sistemas y a la politización de los pobres" y la era de los destinos separados terminó su curso. Con seguridad compartiremos un mismo futuro, sin distinción de sexo, raza y cultura.*

DRA. EUGENIA M. FLORES

*Presidenta
Academia Nacional de Ciencias*

Desarrollo Sostenible

La opción para Costa Rica

Academia Nacional de Ciencias



Digitación:

Santiago Badilla, Lucy Herrera y Andrea Madrigal.

Corrección de pruebas:

Dra. Eugenia M. Flores.

Colaborador especial:

Jacques Quillery

Edición gráfica de portada e interiores:

Carlos Fco. Zamora-Murillo.

PRIMERA EDICIÓN

Academia Nacional de Ciencias

San José, Costa Rica, 1997.

Desarrollo sostenible. La opción para Costa Rica, constituye la memoria del SIMPOSIO SOBRE EL PROGRAMA 21 DE LA CUMBRE DE LA TIERRA. LAS PERSPECTIVAS DE COSTA RICA, celebrado del 22 al 24 de noviembre de 1995 en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Costa Rica.

Esta actividad realizada por la Academia Nacional de Ciencias, contó con el auspicio del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MICTT), del Ministerio de Cultura Juventud y Deportes (MCJD) y del Ministerio de Recursos Naturales Energía y Minas (MIRENEM).

La Academia Nacional de Ciencias hace público el agradecimiento al Ministerio de Ciencia y Tecnología por el apoyo brindado para la publicación de esta memoria, a la Facultad de Agronomía de la Universidad de Costa Rica por el préstamo desinteresado de sus instalaciones para la realización de tan magno evento y además se permite agradecer al Dr. Walter Fernández por su brillante labor como coordinador general del simposio.

ISBN 9968-985-0-7

333.72

S612m

Simposio Desarrollo Sostenible : la opción para Costa Rica (1o. : 1995 nov. 22-24 : San José, C. R.)

Memoria / Presentación de la Dra. Eugenia M. Flores. -- 1a. ed. -- San José : Academia Nacional de Ciencias, 1997.

272 p. : gráf. ; 27 cm

ISBN 9968-985-0-7

1. Desarrollo sostenible - Costa Rica. 2. Costa Rica - Política económica. 3. Recursos naturales - Conservación - Costa Rica. I. Título.

Impreso en Costa Rica

Hecho el depósito que dicta la ley

Desarrollo Sostenible

La opción para Costa Rica

LOS RECURSOS
PARA EL DESARROLLO

DIMENSIONES SOCIALES
Y ECONÓMICAS

POLÍTICAS, ESTRATEGIAS
Y MECANISMOS DE FINANCIACIÓN

IMPACTO HUMANO EN LA ATMOSFERA

*Walter Fernández**

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), como consecuencia de la actividad humana. 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.

Este artículo es la versión escrita de una conferencia dictada por el autor, para la cual utilizó gran parte del contenido de los trabajos de Fernández (1991, 1994). Por esta razón, el presente artículo es una versión extendida del trabajo de Fernández (1994) sobre el cambio climático y sus efectos en la biodiversidad, complementada con información sobre Costa Rica e incorporando una descripción de la capa de ozono y de los efectos de la actividad humana sobre ésta (que no se consideró en el artículo anterior).

EL SISTEMA CLIMATICO

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

* Miembro Academia Nacional de Ciencias. Laboratorio de Investigaciones Atmosféricas y Planetarias, Escuela de Física y Centro de Investigaciones Geofísicas, Universidad de Costa Rica.

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 (Bergman *et al.* 1981).

CAMBIOS CLIMATICOS

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 (Bergman *et al.* 1981).

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 ser humano, 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 (Bergman *et al.* 1981).

El estudio de la variabilidad climática, en escalas de tiempo de estacionales a interanuales, es también 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 (1991) y no se tratan en este trabajo.

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 (Dickinson 1987, Hen-

derson-Seller *et al.* 1988). En los trópicos, la deforestación (con el cambio en el albedo) ejerce un impacto significativo en el balance regional (WCP 1981, Ramanathan *et al.* 1969). 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 (Henderson-Seller *et al.* 1988).

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. *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 (Budyko 1972).
5. *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, realizado por Fernández *et al.* (1986). Varios años antes de que se construyera dicho embalse y varios años posterior a su construcción estuvo en operación una estación medidora de viento, localizada en Tejona (en la margen viento abajo del embalse). Se encontró que la dirección del viento predominante fue siempre del noreste (correspondiente a los alisios del noreste), mientras que la magnitud del viento se incrementó significativamente después de la formación del embalse. La celeridad del viento incrementó consistentemente durante cada mes del año, algunas veces en exceso de 3 m s⁻¹. Las variaciones anuales y diurnas del viento (véase las figuras del artículo mencionado) muestran claramente el incremento en su magnitud. Este caso de la construcción del embalse del Arenal constituye un excelente ejemplo de impacto ambiental: un cambio local en el clima producido por la actividad humana.

EL BALANCE GLOBAL DE ENERGÍA: EL EFECTO INVERNADERO

La consecuencia climática global más importante, debido a la actividad humana, es la que se llama comúnmente el calentamiento global. Como punto de partida, se describirá primero el balance global de energía, incluyendo 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 ó -18 °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 W/m², promedio anual), cerca del 22% es absorbida por el aire y las nubes y cerca de un 31% 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%). El restante 49% de la radiación solar incidente es absorbida por la superficie terrestre (Ramanathan *et al.* 1989). 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 ra-

glaciares continentales en el Hemisferio Norte (Bergman *et al.* 1981).

El estudio de la variabilidad climática, en escalas de tiempo de estacionales a interanuales, es también 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 (1991) y no se tratan en este trabajo.

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 (Dickinson 1987, Hen-

derson-Seller *et al.* 1988). En los trópicos, la deforestación (con el cambio en el albedo) ejerce un impacto significativo en el balance regional (WCP 1981, Ramanathan *et al.* 1969). 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 (Henderson-Seller *et al.* 1988).

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. *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 (Budyko 1972).
5. *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, realizado por Fernández *et al.* (1986). Varios años antes de que se construyera dicho embalse y varios años posterior a su construcción estuvo en operación una estación medidora de viento, localizada en Tejona (en la margen viento abajo del embalse). Se encontró que la dirección del viento predominante fue siempre del noreste (correspondiente a los alisios del noreste), mientras que la magnitud del viento se incrementó significativamente después de la formación del embalse. La celeridad del viento incrementó consistentemente durante cada mes del año, algunas veces en exceso de 3 m s⁻¹. Las variaciones anuales y diurnas del viento (véase las figuras del artículo mencionado) muestran claramente el incremento en su magnitud. Este caso de la construcción del embalse del Arenal constituye un excelente ejemplo de impacto ambiental: un cambio local en el clima producido por la actividad humana.

EL BALANCE GLOBAL DE ENERGÍA: EL EFECTO INVERNADERO

La consecuencia climática global más importante, debido a la actividad humana, es la que se llama comúnmente el calentamiento global. Como punto de partida, se describirá primero el balance global de energía, incluyendo 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 ó -18 °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 W/m², promedio anual), cerca del 22% es absorbida por el aire y las nubes y cerca de un 31% 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%). El restante 49% de la radiación solar incidente es absorbida por la superficie terrestre (Ramanathan *et al.* 1989). 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 ra-

.....

diación 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 ó 15 °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, porque la atmósfera es transparente a la radiación solar pero opaca a la radiación infrarroja, se conoce como efecto invernadero (Goody & Walker 1972). 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%) de los gases ozono, óxido de nitrógeno y metano. Los gases antropogénicos están empezando a contribuir apreciablemente (Ramanathan *et al.* 1989).

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 *et al.* (1989) 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 (Rowntree 1990a).

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 año desde 1860 a 1970 y a una razón de 2,8% de 1970 a 1979 WCP (1981).

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 (Hansen & Lebedoff 1988). Este aumento ha provocado una elevación del nivel medio del mar de cerca de 10 cm en los últimos 100 años (OMM 1990), debido parcialmente a la expan-

.....

sión térmica de los océanos y parcialmente al derretimiento de los glaciares de latitudes medias (Wigley & Raper 1987, Rowntree 1990b). 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 (Kellogg 1983). En efecto, la temperatura media en algunas regiones del Hemisferio Norte descendió entre 1940 y 1965 (Agee 1980). 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 (PMIC 1990). Se estima que el dióxido de carbono contribuye con un 60% al efecto invernadero debido a la actividad humana, el metano con un 25% y los clorofluorocarbonos con un 10% (Rowntree 1990a). 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 (Manabe & Wetherald 1980, OMM 1986).

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.

Es importante considerar como 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 aquel 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 (Budyko 1972).

VARIACION DE LA TEMPERATURA EN SUPERFICIE A NIVEL GLOBAL Y EN COSTA RICA

Como se mencionó, desde finales del siglo pasado ha habido un incremento de la temperatura media mundial en superficie de unos 0,5 K. Estudios recientes, p.e. Karl *et al.* (1993), han examinado las variaciones de la temperatura máxima, la temperatura mínima y el rango diurno de temperatura (diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura míni-

.....

ma) sobre grandes extensiones del Hemisferio Norte, abarcando latitudes medias y altas pero no las latitudes bajas o tropicales. Karl *et al.* (1993) encontraron que el aumento de la temperatura mínima ha sido mayor que el de la temperatura máxima, lo cual hace que se observe una disminución en el rango diurno de temperatura (RDT).

Gómez & Fernández (1996) realizaron un estudio similar para Costa Rica, examinando las variaciones de la temperatura mínima, la temperatura máxima, el RDT y la temperatura media. Escogiendo 23 estaciones meteorológicas representativas de las diferentes regiones del país, encontraron como patrón general que el RDT muestra una tendencia negativa (ha estado disminuyendo en general) en aproximadamente las últimas tres décadas (período considerado por el estudio). Estos resultados complementan los estudios realizados para latitudes medias y altas y confirman que el RDT presenta tendencias negativas a nivel global.

Karl *et al.* (1993), así como otros investigadores citados por Gómez & Fernández (1996) han postulado que la disminución del RDT está relacionada con un aumento de la nubosidad. Un aumento de la nubosidad en las horas nocturnas implica un aumento de la temperatura mínima y un aumento de la nubosidad en las horas diurnas implica una disminución de la temperatura máxima. Consecuentemente, un aumento de la nubosidad, tanto en las horas nocturnas como diurnas, implica una disminución del RDT (Gómez & Fernández 1996). Se considera que el aumento de la nubosidad se debe básicamente al incremento de la temperatura (calentamiento global), el cual produce una mayor evaporación y, consecuentemente, un aumento de la humedad del aire. Se podría especular también que un aumento de la nubosidad es de-

bido a un incremento en el contenido de aerosoles en la atmósfera, los cuales actuarían como núcleos de condensación (Gómez & Fernández 1996). Otra contribución al incremento en el contenido de aerosoles lo constituyen las erupciones volcánicas.

RESULTADOS OBTENIDOS CON MODELOS EN RELACION 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 (Kellogg 1983, Manabe & Wetherald 1980, OMM 1986, Rowland & Isaksen 1988, Rowntree 1990 a, b).

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 (OMM 1986), 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 (Rowntree 1990b, PMIC 1990). Rowntree (1990a) 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 (Manabe & Wetherald 1980).
3. Una disminución de la temperatura media mundial de la estratosfera superior (por encima de los 30 km) de 6 a 10 K (OMM 1990); entre 20 y 30 km, la disminución es de 2 a 8 K (Manabe & Wetherald 1980).
4. Un aumento de la temperatura de la superficie en los trópicos menor de 2 (Kellogg 1983, Manabe & Wetherald 1980).
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 (Kellogg 1983).

Los modelos climáticos actuales no pueden proporcionar estimaciones fiables de los cambios climáticos en una escala regional (PMIC 1990). 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 calentamiento 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 fre-*

cuentes 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 (OMM 1986).

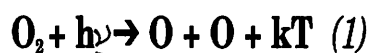
IMPACTO DE LA ACTIVIDAD HUMANA EN LA CAPA DE OZONO

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.

Esta sección está basada en el trabajo de Banichevich y Fernández (1994), el cual provee una revisión detallada sobre el tema e incluye una extensa lista de referencias.

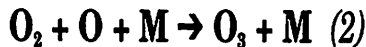
FORMACIÓN Y DESTRUCCIÓN NATURAL DEL OZONO

La molécula de ozono está compuesta por tres átomos de oxígeno. La principal fuente para su formación es la fotodisociación del oxígeno molecular por la radiación solar ultravioleta a alturas mayores de 20 km, expresada por la siguiente reacción:



Los átomos de oxígeno parten con una energía cinética, la cual es transferida al entorno por medio de colisiones, resultando en un aumento de la energía térmica (kT). La radiación que produce la disociación molecular esta representada por $h\nu$

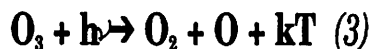
La formación del ozono ocurre a través de la siguiente reacción:



donde el sistema atómico o molecular M participa solamente como estabilizador, sin intervenir en la reacción.

Por lo general, la rapidez de ocurrencia de una reacción química depende de las concentraciones de las sustancias que reaccionan entre sí. Como consecuencia de esto, la reacción (2) no es eficiente a altitudes muy elevadas en la atmósfera donde la concentración de O_2 es muy baja, ni en la troposfera donde la concentración de O es muy baja. Por lo tanto la reacción es eficaz a altitudes intermedias, las cuales resultan estar entre 25 y 50 km. A esta capa donde existen altas concentraciones de ozono se le conoce como la *capa de ozono* u ozonósfera.

La capa de ozono absorbe en toda la gama de radiaciones que llegan a la estratosfera. La destrucción del ozono debida a la fotodisociación se describe mediante la siguiente reacción:



El O_2 y O poseen energía cinética que se transfiere al medio como energía térmica (kT).

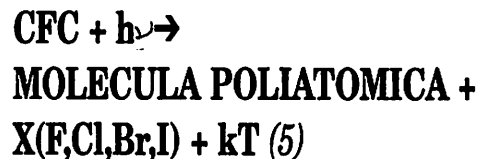
Otra reacción, bastante lenta, que destruye el ozono es la siguiente:



El conjunto de reacciones anteriores ha permitido simular teóricamente la concentración del ozono estratosférico de una forma aceptable.

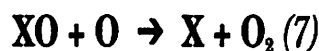
LOS CLOROFUOROCARBONOS Y LOS HALÓGENOS Y SU IMPACTO EN LA CAPA DE OZONO

Los clorofluorocarbonos (CFC) y otras sustancias halógenas se introdujeron en forma generalizada por la industria química, abarcando una amplia gama de aplicaciones, a partir de la década de los cincuenta. Debido a que estos sistemas poliatómicos son muy estables, se pueden desplazar en la atmósfera por períodos muy largos de tiempo (varias décadas), pudiendo alcanzar la estratosfera antes de ser redepositados en la superficie terrestre o en los océanos. Al llegar a la estratosfera pueden ser fotodisociados por radiación solar de alta energía (principalmente la ultravioleta). Este proceso se puede representar como:



donde X es un átomo halógeno y kT representa energía térmica.

Debido a su reactividad química, los átomos halógenos destruyen el ozono sin que su concentración disminuya (reacción catalítica) de la siguiente forma:



El resultado es que los átomos halógenos pueden destruir enormes cantidades de moléculas de ozono (en el caso del Cl del orden

de cien mil) antes de poder ser totalmente desactivados químicamente o ser redepositados en la superficie. Otros ciclos catalíticos, aparte del de los halógenos, han sido descubiertos (Banichevich & Fernández 1994). Molina y Rowland (1974) señalaron la amenaza de los freones para la capa de ozono.

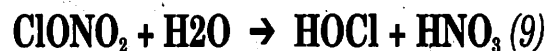
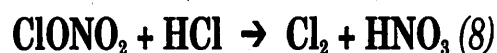
LOS AGUJEROS DE OZONO DE LAS REGIONES POLARES

En 1985, se descubrió que un decrecimiento en la concentración de ozono de cerca del 50% había tenido lugar en la Antártida en la década anterior a esa fecha, pero solo en la estación de primavera (Farman et al. 1985). Se encontró también que la razón de decrecimiento del ozono es mayor en setiembre (Gardiner & Shanklin 1986, Mount et al. 1987, Storlarski et al. 1986) y que los cambios más grandes en la concentración de ozono están confinados en el intervalo de altitudes entre los 10 y 25 km (Solomon 1988). Otros estudios han mostrado que la reducción en la concentración de ozono es menor en la región polar ártica (cerca del 10-25% durante la primavera ártica) que en la Antártida (Bowman 1986, Schoeberl *et al.* 1986).

Una pregunta que surge de lo anterior es la siguiente: ¿por qué se da una disminución tan drástica y periódica en la concentración del ozono en las regiones polares, o sea a nivel local, si la cadena de reacciones (6-7) acelera el proceso de destrucción general de la capa de ozono a nivel global? La respuesta descansa básicamente en las condiciones ambientales de las regiones polares, que permiten la formación de nubes en la estratosfera como resultado de la presencia de sustancias producidas por la actividad humana (Banichevich & Fernández 1994). De estas nubes, las que juegan un papel imprescindible para

la aparición de un agujero en la capa de ozono son las "nubes hidro-ácidas" o formadas por cristales hidroácidos (trihidrato de ácido nítrico: $\text{HNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$).

Cuando la temperatura disminuye por debajo de -80°C , el ácido nítrico se condensa alrededor de partículas de agua (H_2O) enriquecidas con ácido sulfúrico (H_2SO_4), formándose los cristales de trihidrato de ácido nítrico ($\text{HNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) con un tamaño promedio de cerca de un micrómetro. Estos cristales permiten a su vez que otras sustancias como ácido clorhídrico (HCl) o nitrato de cloro (ClONO_2) se depositen en su superficie, propiciando las siguientes reacciones durante la oscuridad invernal polar:

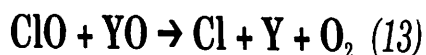


Estas reacciones permiten que se acumulen cantidades significativas de Cl_2 y HOCl . Estas moléculas se fotodisocian con los primeros rayos solares en la primavera, produciendo átomos de cloro libres mediante las siguientes reacciones:



El cloro reaccionará con el ozono para producir monóxido de cloro, según la reacción (6). No obstante, la destrucción del ozono mediante las reacciones (6) y (7) no se da en la atmósfera polar invernal-primaveral, como en la reacción (7), ya que el oxígeno atómico no juega un papel importante en este período del año (Banichevich & Fernández 1994). Las reacciones que entran en juego son:





donde $\text{Y} = \text{Cl, Br, OH}$. A través de estos procesos es que se produce la drástica reducción de la capa de ozono en las regiones polares.

En la época invernal, la temperatura del Polo Norte es en promedio unos 10 °C mayor que la del Polo Sur y la estabilidad atmosférica en la Antártida es mayor que en la región polar ártica. Debido a esto, las nubes polares estratosféricas de origen antropogénico son menos frecuentes en el Artico que en la Antártida y, consecuentemente, la reducción de ozono es mayor en la Antártida.

Hay otros mecanismos que intervienen en la dinámica de la ozonósfera, pero cuya discusión escapa el objetivo del presente artículo. La descripción de tales mecanismos se puede encontrar en el trabajo de Banichevich & Fernández (1994).

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 & Stolton (Markham *et al.* 1993).

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 (Emanuel 1987, Broccoli & Manabe 1990), lo que en conjunto tiene un impacto significativo en los

ecosistemas marinos y costeros (Bardach 1989, Vellinga & Leatherman 1989), 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 (Markham *et al.* 1993).

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 (Markham *et al.* 1993), 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 (Davies 1989, Peters & Darling 1985), 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 del los cambios (Markham *et al.* 1993). Algunas implicaciones del calentamiento global para Latinoamérica han sido discutidas por Castro (Castro 1991).

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 Costa Rica.

COMENTARIOS FINALES

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. Además, es importante tener presente que el cambio climáti-

co puede afectar también la salud humana y la productividad económica.

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.

REFERENCIAS

- AGEE, E.M. 1980 Present climatic cooling and a proposed causative mechanism. Bull. Amer. Meteorol. Soc. 61(11): 1356-1367.
- BANICHEVICH, A. & W. FERNANDEZ 1994 La capa de ozono y su modificación por la actividad antropogénica: los huecos en las regiones polares. Revista Geofísica 40: 139-182.
- BARDACH, J.E. 1989 Global warming and the coastal zone. Climatic Change 15: 117-150.
- BERGMAN, K.H., HECHT A.D. & S.H. SCHNEIDER 1981 Climatic models. Physics Today 34(10): 44-51.
- BOWMAN, K.P. 1986 Geophys. Res. Lett. 13: 1193.
- BROCCOLI, A. & S. MANABE 1990 Will global warming increase the frequency and intensity of tropical cyclones? Geophys. Res. Lett. 17(11): 1917-1920.
- BUDYKO, M.I. 1972 The future climate. EOS 53(10): 868-874.
- BULL, T. 1993 A new perspective on recent global warming: asymmetric trends of daily maximum temperature Amer. Meteorol. Soc. 74(6): 1007-1022.
- CASTRO, G. 1991 Global warming: causes, consequences, and some implications for Latin America. Interciencia 16(3): 119-124.
- DAVIES, M.B. 1989 Lags in vegetation response to greenhouse warming. Climatic Change 15: 75-82.
- DICKINSON, R.E., (Ed). 1987 The Geophysiology of Amazonia: Vegetation and Climate Interactions. Wiley, New York.
- EMANUEL, K.A. 1987 The dependence of hurricane intensity on climate. Nature 326: 483.
- FARMAN, J.C., GARDINER B.G. & J.D. SHANKIN 1985 Nature 315: 207.

-
- FERNANDEZ, W. 1991 Cambios climáticos: el calentamiento global. *Tecnología en Marcha* 11(2): 11-22.
- FERNANDEZ, W. 1994 El cambio climático y sus posibles efectos en la biodiversidad. En "Ideario de la Ciencia y la Tecnología: Hacia el Nuevo Milenio", Ministerio de Ciencia y Tecnología, San José, pp. 273-293.
- FERNANDEZ, W.; CHACON R.E. & J.W. MELGAREJO 1986 Modifications of air flow due to the formation of a reservoir. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 25: 982-988.
- FERNANDEZ, W. & P. RAMIREZ 1991 El niño, la Oscilación del Sur y sus efectos en Costa Rica: una revisión. *Tecnología en Marcha* 11(1): 3-10.
- JARDINER, B.G. & J.D. SHANKLIN 1986 *Geophys. Res. Lett.* 13: 1199.
- GOMEZ, I.E. & W. FERNANDEZ 1996 Variación interanual de la temperatura en Costa Rica. *Tópicos meteorológicos y oceanográficos* 3(1):27-44.
- GOODY, R.M. & J.C.G. WALKER 1972 *Atmospheres*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A.
- HANSEN, J. & S. LEBEDOFF 1988 Global surface air temperatures: update through 1987. *Geophys. Res. Lett.* 15(4): 323-326.
- HENDERSON-SELLER, A.; DICKINSON R.E. & M.F. WILSON 1988 Tropical deforestation: important processes for climate models. *Climatic Change* 13(1): 43-67.
- KARL, T.R., JONES, P.D, KNIGHT, R.W., KUKLA, G., PIUMMER, N., RAZUVAYEV, V.N. GALLO, K.P., LINDSEAY, J., CHARLSON R.J. & T.C. PETERSON 1993 A new perspective on recent global warming: asymmetric trends of daily maximum temperature.
- KELLOGG, W.E. 1983 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.
- MANABE, S. & R.T. WETHERALD 1980 On the distribution of climate change resulting from an increase in CO₂ content of the atmosphere. *J. Atmos. Sci.* 37: 99-118.
- MARKHAM, A.; N. DUDLEY & S. STOLTON 1993 *Some Like It Hot*. WWF International CH-1196 Gland, Switzerland,
- MOLINA, M.J. & F.S. ROWLAND 1974 *Nature* 249: 810.
- MOUNT, G.H., SANDERS, R.W., SCHMELTEKOPF A.L. & S. SOLOMON. J. 1987 *Geophys. Res.* 92: 8320.
- OMM 1986 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.
- OMM 1990 El estado actual y las tendencias recientes del clima del mundo. *Boletín de la OMM* 39(1): 27-30.
- PETERS, R.L. & J.D.S. DARLING 1985 The greenhouse effect and nature reserves. *Bioscience* 35: 707-717.
- PMIC. 1990 Cambio climático: Una declaración del conocimiento actual y de las prioridades de investigación en el PMIC. *Boletín de la OMM* 39(1): 34-38.
- RAMANATHAN, V., BARKSTROM B.R. & E. HARRISON 1989 Climate and the Earth's radiation budget. *Physics Today* 42(5): 22-32.
- ROWLAND, F.S. & I.S.A. ISAKSEN (eds). 1988 *The Changing Atmosphere*. Wiley, New York.
- ROWNTREE, P.R. 1990a. Estimates of future climatic change over Britain. Part 1: Mechanisms and models. *Weather* 45(2): 38-42.
- ROWNTREE, P.R. 1990b. Estimates of future climate change over Britain. Part 2: Results. *Weather* 45(3): 79-89.
- SCHOEBERL, M.R., KRUEGER A.J. & P.A. NEWMAN. 1986 *Geophys. Res. Lett.* 13: 1217.
- SOLOMON, S. 1988 *Reviews of Geophysics* 26: 131.
- STORLARSKI, R.S., KRUEGER, A.J., SCHOEBERL, M.R., MCPETERS, R.D., NEWMAN P.A. & J.C. APERT. 1986 *Nature* 322: 808.
- VELLINGA, P. & S.P. LEATHERMAN 1989 Sea level rise, consequences and policies. *Climatic Change* 15: 175-189.
- WCP. 1981 On the assessment of the role of CO₂ on climate variations and their impact. *World Climate Programme*, Geneva.
- WIGLEY, T.M.L. & S.C.B. RAPER 1987 Thermal expansion of sea water associated with global warming. *Nature* 320: 127-131.

PRESENTACIÓN

EUGENIA M. FLORES

LOS RECURSOS PARA EL DESARROLLO1

CICLOS GLOBALES E IMPACTO HUMANO

CARLOS QUESADA MATEO3

IMPACTO HUMANO EN LA ATMOSFERA

WALTER FERNÁNDEZ27

**DESARROLLO, CONTROL Y MANEJO
DE LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS Y AREAS
DE RECARGA PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA
POTABLE EN COSTA RICA**

RONALD CALVO41

**LOS RECURSOS GEOLOGICOS
Y SU DESARROLLO SOSTENIBLE**

ALFONSO MONGE53

**LA BIODIVERSIDAD COSTARRICENSE
Y SU PAPEL EN EL DESARROLLO DEL PAIS**

RODRIGO GÁMEZ67

AREAS DE CONSERVACION EN COSTA RICA

LUIS DIEGO GÓMEZ73

**RECURSOS FORESTALES :
USO Y CONSERVACION**

LUIS A. FOURNIER77

.....

FOMENTO DE LA AGRICULTURA Y EL DESARROLLO RURAL SOSTENIBLE ALEXIS VÁSQUEZ	103
INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD RECURSOS ENERGETICOS Y DESARROLLO SOSTENIBLE LUIS LLACH	111
BIODIVERSIDAD Y BIOTECNOLOGIA: ¿DE LA MANO O ANTAGONICAS? PEDRO LEÓN	121
GESTION DE LOS DESECHOS TOXICOS Y PELIGROSOS ALEXIS RODRÍGUEZ	125
DIMENSIONES SOCIALES Y ECONÓMICAS	137
A DIMENSÃO HUMANA DAS MUDANÇAS GLOBAIS MAURÍCIO TIOMNO TOLMASQUIM	139
DINAMICA DEMOGRAFICA Y SOSTENIBILIDAD ALFONSO MATA	147
PROTECCION Y FOMENTO DE LA SALUD HUMANA LEONARDO MATA	169
CULTURA Y DESARROLLO SOSTENIBLE ARNOLDO MORA	179
LEY, EDUCACION Y DESARROLLO SOSTENIBLE JUAN JOSÉ SOBRADO	185
CONSUMISMO, ESTILOS DE VIDA Y DESARROLLO SOSTENIBLE ROBERTO SALOM	191

.....

POLÍTICAS, ESTRATEGIAS Y MECANISMOS DE FINANCIACIÓN	199
LA PARTICIPACION DE LAS MUJERES EN EL DESARROLLO SOSTENIBLE MIRTA GONZÁLEZ SUÁREZ	201
DEL BOSQUE A LA SOCIEDAD RENÉ CASTRO SALAZAR	221
POLITICA CIENTIFICO TECNOLOGICA Y DESARROLLO SOSTENIBLE MIGUEL ANGEL RODRÍGUEZ	225
INSTRUMENTOS Y MECANISMOS JURIDICOS NACIONALES E INTERNACIONALES PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE MARIO CARAZO	233
DESARROLLO SOSTENIBLE ¿MITO O REALIDAD? MARÍA EUGENIA BOZZOLI DE WILLE	245