

**CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, EFECTOS INVERNADERO Y  
CAMBIOS CLIMÁTICOS: SUS IMPACTOS FORESTALES**

**Carlos A. Llerena<sup>1</sup>**

**RESUMEN**

Se indica que la mayoría de los científicos atmosféricos en el mundo está de acuerdo con el progresivo proceso de cambios climáticos mundiales, que la minoría en desacuerdo tiene voceros de renombre, pero todos, sin excepción, concuerdan en la necesidad de más datos y mejores modelos para predicciones. Se describe el pasado, presente y el cuadro futuro del efecto de los cambios globales en los bosques en general con el fin de aprovechar la literatura existente sobre el tema, mayormente referida a boques de climas templados, parte de la cual se puede aplicar a los bosques tropicales. Se recurre también a resultados de investigaciones en cultivos agrícolas. Se resalta que aún descartando aumentos en temperaturas y cambios en la precipitación, sólo la mayor concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> dará lugar a transformaciones importantes: producción de una vegetación más exuberante pero con menor valor nutritivo, mejor aprovechamiento del agua, menor velocidad de descomposición de la hojarasca y de la materia orgánica, cambios en la química, micro-flora y micro-fauna del suelo, cambios en la fenología y estructura de la flora, perturbaciones en la fauna y alteraciones del paisaje.

Los incrementos en la temperatura y las variaciones en las precipitaciones añadirían modificaciones en la distribución latitudinal y altitudinal de las especies, con la desaparición de algunas de ellas, estando en mayor peligro las especies de estrecho rango de distribución como las de zonas altas, litorales y ribereñas, y aquellas cuyos procesos migratorios y de dispersión hacia sus nuevas habitas puedan verse afectados por obstáculos antrópicos. Se estima que la interacción de los cambios en la composición atmosférica, con los que ocurrirían en el clima propiamente dicho, tendría un efecto negativo especialmente en los ecosistemas naturales. Por eso es importante tener en cuenta estas posibles variaciones futuras en proyecciones a largo plazo, como son los planes de manejo de bosques y de plantaciones forestales.

---

<sup>1</sup> Profesor asociado, Facultad de Ciencias Forestales UNALM  
Miembro del Comité Nacional del Programa Internacional Geósfera -Biósfera (IGBP)

## SUMMARY

There is not complete consensus among scientists on global change and its effects, but the scientific community fully agrees about the need of more and better data for prediction models. Past, present, and future scenarios of forests affected by global changes are presented taking advantage of research mostly developed on temperate forests, and on agricultural crops. Literature on global change effects on tropical forests is very scarce and almost not available. Responses of tropical trees and forests are expected, generally speaking to be similar to those of temperate forests. It is stated that, even without taking into account increasing temperatures and variations in precipitation, only the higher CO<sub>2</sub> content expected in the atmosphere will produce important alteration in plants. Some of the alterations would be: more exuberant vegetation with less nutritive value; more efficient use of water; slower decomposition rates of litter and organic matter; changes in soil chemistry, micro-flora and micro-fauna; phenological and structural changes in forest, wildlife disturbances, and landscapes transformation.

Elevation of mean temperatures and changes in precipitation will modify the altitudinal and latitudinal distribution patterns of plants which will have to migrate. Species with a narrow distribution range such as those of high altitudes and coast and riparian habitats, will be stringly stressed, and might become extinct. In the same way, species having to pass across urban and degraded areas in their migratory path will have to overcome difficult problems. It is estimated that the interactions between the new atmospheric composition and the climate changes will have a net negative effect on plants, specially on natural ecosystems, so it would be important to develop in advance proper strategies and alternatives. Long term planning and projects, like those of forests management and plantations forests, should have into account all the possible future environmental mutations.

## INTRODUCCIÓN

Los cambios globales y el calentamiento climático (Fig. 1) como consecuencia del efecto invernadero provocado por el incremento en la concentración del CO<sub>2</sub>CH<sub>4</sub> y otros gases en la atmósfera (Fig. 2, Cuadro 1) son desde la década pasada fenómenos muy comentados en periódicos nacionales y de otros países (Stevens, 1990; Unger, 1990; Cox, 1991); revistas de divulgación científica como National Geographic (Mathews, 1990); boletines de organizaciones ambientalistas (Hinrichsen, 1990; Woods, 1990, WWF, s/f), publicaciones especializadas como Ceres y Unasylva de FAO, Medio Ambiente del IDMA, Tiempo del IIED; multitud de artículos científicos (Hamsen *et al.* 1981; Frye, 1983; Peters y Darling, 1985; Hamburgg y Cogbill, 1988; Lashof, 1989; Roberts, 1989, citados por Peters, 1990, Houghton, 1990; Goureau, 1990), revistas científicas dedicadas exclusivamente al tema (Climatic Change, Global Environmental Change, Change Report, Global Environmental Change, Human and Policy Dimensions, entre otras) y libros (Neal, 1989; pearce, 1989; Mungall y McLaren 1990; Mc Kibben, 1990). La cantidad de material escrito sobre el tema es enorme, aunque poco de este material se encuentra disponible en las bibliotecas públicas y universidades peruanas, con excepción de la biblioteca especializada del IGBP en Lima que es poco consultada.

### **Lo que dice la mayoría.**

Lo publicado sobre este asunto muestra que la gran mayoría de estudiosos de las ciencias atmosféricas, con el respaldo de sus investigaciones y modelos, se inclina a aceptar como una posibilidad muy probable el cambio global del clima con incrementos de la temperatura media del planeta en un rango de 1.5 a 5.2°C y aumentos de la precipitación entre 7.1 y 15.8 por ciento antes de mediados del próximo siglo (Andrasko, 1990; Goreau, 1990; Perry y Borchers, 1990) con los consecuentes problemas efectos de elevación del nivel medio del mar, variación en los, patrones de distribución de la vegetación, cambios en la productividad agrícola y forestal, etc. Algunos son muy categóricos sobre la inminencia y gravedad del problema (Gribbin, 1990; Mac Neill, 1990) y están muy seguros de sus predicciones como J. Hansen, director del Instituto Goddard de NASA, S. Shneider del Centro Nacional de Investigación Atmosférica de EE.UU., G.M. Woodwell del Centro de Investigación Woods Hole de Massachusetts entre otros, y apenas iniciado el año 1991 se apresuraron a mostrar que los análisis de los datos de 1990 refuerzan los resultados de los modelos usados (Pearce, 1991), y como respaldo a su punto de vista anunciaron en revistas y periódicos que 1990 fue el año record en temperatura en la Tierra en casi 200 años de toma de datos, alcanzando valores nunca antes registrados en tierra, mar y aire. Destacan que 7 de los 10 años más cálidos en la historia han ocurrido en la década de 1980 la cual fue unos 0.3°C más calurosa que la media de los previo 30 años, lo que significa un fuerte incremento cuando se compara con promedios históricos de largo plazo (Cox, 1991; Kerr, 1991).

*\*Faltan figs. 1, 2 y 3 (págs. 103, 104 y 123, al final del texto)*

Cuadro 1. **Contribución de los gases atmosféricos al efecto invernadero en la década de 1980 (Knabe, 1990)**

Gas	%
Anhidrido carbónico ( CO <sub>2</sub> )	50
Metano ( CH <sub>4</sub> )	19
Clorofluorocarbonos ( CFCs )	17
Ozono ( O <sub>3</sub> )	8
Oxido nitroso ( N <sub>2</sub> O )	4
Agua (estratósfera) ( H <sub>2</sub> O )	2

### **La posición de la minoría**

Sin embargo, hay un grupo de científicos de mucho prestigio como R. Lindzen, meteorólogo del MIT; H. Ellsasser, del Laboratorio Nacional L. Livermore; S.F. Singer y P.J. Michael de la Universidad de Virginia; R. Balling de la Universidad del Estado de Arizona y otros más, que no están de acuerdo con la mayoría y como explicación de su escepticismo dicen que hay importantes factores pobremente considerados en las proyecciones tales como la capacidad de automantenimiento de la atmósfera y el efecto de las nubes (Kerr, 1989; Maddox, 1990), el rol de los océanos y su potencial de absorción biológica de CO<sub>2</sub> (Smythe, 1990; Gillis, 1991; Williamson y Platt, 1991), la actividad solar (Monoer, 1990) y las erupciones volcánicas (Ray, 1989), entre otros, que harían que las predicciones sean equivocadas. Hay también publicaciones que muestran que en algunas estimaciones sobre cambios climáticos regionales se han tenido en cuenta peculiaridades propias de algunas regiones extensas como la tunda, importante emisora de CH<sub>4</sub> en la que se ha descubierto un singular comportamiento mitigador de bacterias del suelo que compensa esta emisión (Whalen y Reeburgh 1990). Asimismo, un reporte reciente que apoyaría la posición minoritaria divulga cálculos realizados usando datos de 10 años de temperaturas mundiales tomados por satélites mediante radiometría de microondas con precisiones de 0.01°C. Estos cálculos estarían negando las tendencias de calentamiento al mostrar que las variaciones de temperatura vienen ocurriendo al azar (Mani, 1990; Spencer y Christy, 1990), aunque se debe puntualizar que los que afirman lo anterior dicen también que sus datos son todavía muy escasos para ser concluyentes.

Una posición interesante es la de Ray (1989), quien reclama que una posición de “sano escepticismo” es necesaria en el debate sobre el efecto invernadero. Ella estima que

una ponderación calmada de los efectos pronosticados muestra que no hay apocalipsis inminente a la vista y que, probablemente, las desproporcionadas preocupaciones sobre el tema están relacionadas con un comportamiento natural de la persona humana “tipificado por la inseguridad, las angustias metafísicas y una conciencia cataclísmica subyacente”, características de las que, según ella, no se libran los científicos. Hurley (1991) informa que en octubre del año pasado se reunieron los 28 más famosos científicos críticos de la teoría del calentamiento global para definir un programa de investigación que explore los emergentes puntos de vista sobre los efectos neutros o hasta benéficos de los cambios climáticos. En el extremo del espectro de los que niegan la tendencia al incremento progresivo de la temperatura de la Tierra están aquellos que pronostican que el futuro del planeta será de enfriamiento, como Windelius (1990) quien basándose en estudios del pasado de la actividad solar en los últimos 300 años augura temperaturas muy bajas a partir de mediados del decenio de 1990 que podrían mantenerse por 90 años.

## **El Consenso**

En lo que toda la comunidad científica está plenamente de acuerdo es en las limitaciones de los datos y de los modelos que los procesan para lograr una confiable predicción del futuro climático del planeta, especialmente del punto de vista cuantitativo, y que los datos de la década del 90 serán fundamentales para llegar a conclusiones firmes, esto a pesar de que actualmente se procesan datos climáticos de más de 100 años y se corren modelos sofisticados con supercomputadoras de 20 millones de dólares (Matthews, 1990).

Recientemente se han disminuido las limitaciones de algunos modelos al incluir en ellos, por ejemplo, mejores y más detalladas caracterizaciones oceanográficas tanto físicas (Matthews, 1990) como biológicas (Gillis, 1991). Una clara muestra de la sensibilidad de los modelos computarizados se obtiene al considerar el efecto de las nubes; al tener en cuenta el contenido de agua de las nubes en uno de los modelos, la predicción de incremento de temperatura se redujo de 5.2°C a 1.9°C (Abelson, 1990),

## **Las incertidumbres y las aristas políticas**

A pesar de la publicidad dada a los progresos en los cálculos de los futurólogos, la incertidumbre de la situación actual es destacada por algunos autores como Michaels (1989), Abelson (1990) y McKibben (1990) que resaltan el lado político del problema, previenen sobre algunas soluciones planteadas que afectarían mucho más a los países menos desarrollados, y piden a la mayoría que acepta como un hecho el problema del cambio global, que preste atención a los resultados de los estudios y apreciaciones recientes de la minoría escéptica, aunque estos se opongan a sus puntos de vista. No deja de ser interesante anotar que la negación de evidencias científicas que relacionan el calentamiento planetario con las emisiones de CO<sub>2</sub>. es un argumento al que se adhieren representantes de

los países que causan en mucho mayor grado el problema, cuando en los foros políticos internacionales se plantea la necesidad de reducir la contaminación ambiental en porcentajes que implican ciertos sacrificios culturales y nacionales (Cardettini, s7f). Este enfrentamiento entre políticos y científicos fue muy claro en la Segunda Conferencia Mundial sobre Clima de fines de 1990. En esta reunión los científicos produjeron un documento contundente que propugnaba que pese a todas las incertidumbres, era necesario reducir las emisiones de gases invernadero, que el CO<sub>2</sub>, requería de una continua disminución mundial del orden del 1 al 2° y que se debería controlar la deforestación. Sin embargo, la blanda declaración final del consenso firmado por los políticos virtualmente ignoró los asuntos científicos. Algunos de los hombres de ciencia luego de la frustrante reunión indicaron que el resultado final fue consecuencia de las presiones aplicadas a las delegaciones asistentes por los dos mayores emisores de CO<sub>2</sub> los Estados Unidos y la Soviética, que juntos producen el 40% de esta contaminación, y Arabia Saudita, el mayor productor de crudo del mundo (Woods, 19991).

La importancia mundial concedida al cambio global la podemos observar en los últimos tiempos en las numerosas y frecuentes reuniones de distintas instituciones internacionales (FAO, IAHS, IUFRO, WMO, UNESCO, etc.) y los organismos especializados creados por ellas para estudiar el problema (IPCC, IGBP, etc.). En 1990 hubo por lo menos dos reuniones regionales latinoamericanas sobre el tema, ambas en Sao Paulo, organizadas por el IGBP, la primera; y la segunda por la universidad de Sao Paulo y el Woods Hole Research Center, la cual tenia una sesión de un día dedicada a la conferencia de la ONU sobre el Medio Ambiente y el desarrollo, a celebrarse en Brasil en 1992. Para 1991 se realizaron varias reuniones nacionales y algunas regionales, y para principios de 1992 se anuncia una sesión internacional sobre cambios climáticos y zonas áridas en Ceará, Fortaleza, Brasil. El comité peruano del IGBP realizo en noviembre de 1990 el simposio ``El Cambio Global del Ambiente y su Significado Ecológico`` que originó este artículo.

## **Objetivos**

El objetivo del presente documento es considerar los posibles efectos que el cambio global tendría sobre los bosques húmedos tropicales del planeta, los cuales ocupan alrededor del 8.6 por ciento de la superficie de la litosfera terrestre equivalente a unos 1100 millones de hectáreas. Debido a su tala y quema estos bosques aportan del 10 al 30 por ciento de las emisiones de CO<sub>2</sub> de origen húmedo que llega a la atmósfera (UICN *et al*, 1990). La eliminación de esta cobertura vegetal para fines múltiples, de acuerdo a estimados basados en resultados preliminares se aproxima a los 18 millones de hectáreas anuales (Lanly *et al*, 1991). Los efectos climáticos de conversiones en gran escala de bosques amazónicos a pastizales son presentados por Nobre *et al*, (1989). Una visión completa sobre la importancia ecológica, económica y social de los bosques tropicales se puede encontrar en numerosas publicaciones como UNESCO *et al* (1978), Sutton *et al*, (1983), Myers (1984), Longman y Jenik (1987). Sobre la Amazonía, publicaciones como

las de Salati y Vose (1984), Sioli (1984), Prance y Lovejoy (1985), Dickinson (1987), Jordan (1987) y Dourojeanni (1990a) pueden mostrar mayor detalle.

La investigación realizada sobre los efectos del cambio global en los bosques tropicales es incipiente y sumamente escasa, en contraste con la abundante literatura de estos estudios en bosques de climas templados y en cultivos agrícolas propios de estas latitudes. Debido a la carencia arriba indicada, se recurre a la investigación existente, y a pesar de las diferencias obvias entre bosques templados y cultivos agrícolas, y bosques tropicales, se asume que los principios generales básicos de ecología y fisiología vegetal y de otras ciencias afines, son aplicables a los bosques y a las plantas del trópico.

Es también propósito importante de este artículo divulgar entre la comunidad científica y el público en general, el estado de las discusiones y estudios sobre el anunciado cambio global y algunos de sus posibles efectos.

## **CAMBIOS GLOBALES Y DE LOS BOSQUES: PASADO Y PRESENTE**

Antes de analizar lo que estaría por ocurrir en el futuro en los bosques del planeta como consecuencia de la alteración climática mundial, es importante ganar en perspectiva considerando lo que ocurrió en el pasado y lo que sucede actualmente.

### **El Pasado**

Evidencias paleontológicas muy claras nos indican que los bosques se adaptan a los cambios climáticos naturales desde mucho tiempo atrás. Waring y Schlesinger (1985) nos presentan muchos casos estudiados en los Estados Unidos de especies que para ubicarse en su ambiente actual han migrado distancias importantes latitudinal y altitudinalmente, tal es el caso de una especie de pino (*Pinus banksiana*) que en épocas más frías, hace 15000 a 20000 años, se encontraban 900 Km. más al sur, u oro pino de altura (*Pinus cembroides*) y un arbusto (*Juniperus pinchotii*) que se encontraba 800 m por debajo de su cota más baja se ubicación presente. Adecuaciones en el mismo sentido son descritas por Peters (1988) para coníferas como *Tsuga canadensis* y *Pinus strobus*, que han migrado 350 m hacia mayores elevaciones para encontrar su temperatura adecuada en condiciones de calentamiento de 2°C desde el Holoceno medio (hace unos 5000 años). En condiciones de enfriamiento las migraciones serían lógicamente en sentido inverso, pero según se pronostica para el futuro, teniendo en cuenta las proyecciones del pasado, las especies tenderían a moverse mucho más hacia el norte o hacia las alturas de las montañas.

A diferencia de los registros fósiles y la palinología relativamente fácil de la regiones templadas, las zonas tropicales especialmente las más húmedas y de zonas bajas, presentan dificultades para el análisis de su pasado por sus peculiaridades geológicas, hidrológicas y climáticas (Rasamen *et al*, 1987 y Raup, 1988). Los datos del pasado de los

bosques húmedos tropicales se complican también por la diversidad de especies existentes en ellos, en los cuales hay que trabajar con polen no de unas pocas especies sino con comunidades completas. Los trabajos de Bush y Colinvaux (1988) nos revelan aparentes cambios en la abundancia de ciertas especies típicas de la Amazonía baja de los géneros *Ficus* y *Alchornea* y de la familia *Palmae* entre los años 4,200 y 3150 a.C. como consecuencia de una época extremadamente seca. En estudios de tiempos más remotos Liu y Colinvaux (1986) estiman que en áreas a 1100 msnm hoy dominadas por latifoliadas tenían dominancia las coníferas del género *Podocarpus*, hoy representadas solamente por 1 o 2 especies de relativa escasa presencia en estas áreas, que más bien están presentes en relictos densos a mucho mayor altura (sobre los 3000 msnm) y a mayor latitud. Absy (1985) presenta estudios palinológicos que guardan similitud a los antes expuestos, indicando también que desde el comienzo del Cuaternario (hace unos 2,5 millones de años), como consecuencia del inicio de la edad del hielo del Pleistoceno, en muchas zonas de la región tropical sudamericana ocurrieron importantes transformaciones climáticas y profundos cambios en la flora y fauna con evidencias de presencia de vegetación baja en lugar de árboles o arbustos. Esto se dio por ejemplo en Guyana, cerca de la frontera con Brasil, hace unos 4000 años; en las costas de Surinam hace 2000 años y en los Andes amazónicos venezolanos entre los años 13000 y 11500 a.C. Una revisión de los cambios climáticos en los trópicos húmedos con énfasis en la Amazonía, durante los últimos veinte mil años, es presentada por Dickinson y Virji (1987)

Toda esta información nos indica que los bosques se adaptan constantemente a los cambios climáticos los cuales han ocurrido sin intervención humana. En nuestros días estas alteraciones continúan y por lo tanto los bosques siguen imperceptiblemente adecuándose a las mismas. Usando los datos antes indicados podríamos obtener la “velocidad de adaptación” (migración o dispersión) de algunas especies. Así *Pinus banksiana* se mueve a un ritmo de desplazamiento latitudinal que fluctúa entre 0,045 y 0,060 km/año, *P. cembra* y *J. pinchotii* pueden ascender por las laderas a velocidades que van de 0,040 a 0,053 m/año. Si los cambios climáticos siguieran dándose en las mismas condiciones que en el pasado estas especies no tendrían problemas, pero según los pronósticos adelantados los cambios no serían así sino mucho más rápidos.

## **El presente**

En nuestros días encontramos muchas características ambientales que hacen de la biósfera un medio bastante diferente al de tiempos pasados. Hoy, casi no hay parte del planeta en la que no se detecte la acción antrópica negativa. En lo que respecta a la atmósfera y los bosques hay gran cantidad de información sobre los problemas de contaminación de aquella relacionada con daños a estos, especialmente en Europa y Norteamérica (Hinrichsen, 1987; Muller-Dombois, 1987; Michaels y Hayden, 1987; Becker, 1989; Mc Altieri s/f) muestran que el daño forestal en Europa, en 1986, era porcentualmente máximo en Holanda con 55 por ciento de su área total de bosques dañados, en Alemania Occidental el deterioro era del 54%, en Suiza 50%, Inglaterra 49%, y 37%, 34% y 28 por ciento respectivamente en Austria, Bulgaria y Francia. En Canadá las

informaciones periodísticas mostraban en primera plana que el crecimiento de los árboles se retarda en un 66 por ciento en comparación con las décadas del 50 y 60 debido a la contaminación (McLaren, 1989). En los Estados Unidos la preocupación mayor sobre los bosques y la calidad del aire se centra en la contaminación regional que puede causar problemas a miles de kilómetros de su origen, cambiando en forma sutil el metabolismo de los árboles y los procesos del ecosistema. Según se indica, es un proceso típicamente invisible, por lo menos al inicio del daño, y por lo tanto difícil de medir. En este país (Smith, 1985) se han venido notando los daños de la contaminación atmosférica en los bosques por más de un siglo, y aún no se sabe con certeza cómo los ecosistemas forestales responden a estas alteraciones. Según Mackenzie y El-Ashry (1989) los daños más serios en bosques de EE.UU. se presentan en por lo menos 13 Estados, de los cuales el único del Oeste es California. Recientes estadísticas (de Steiguer *et al*, 1990) entre los prestigiosos científicos en el campo de la investigación del daño forestal por contaminación ambiental en EE.UU. muestran al ozono como la mayor amenaza al crecimiento de los bosques del país, que los óxidos de azufre y nitrógeno no han causado daños en ecosistemas forestales a escala regional, y que es de esperarse en severo incremento en los daños en el largo plazo.

No hay investigaciones en bosques tropicales similares a las realizadas en bosques templados. Es sin embargo posible inferir que el daño general actual es mucho menor en los trópicos debido a la menor concentración en estas latitudes de fuentes que emitan contaminantes. Daños locales con intensidades variables en función del tiempo de permanencia y magnitud del efecto contaminador, podrían quizás ser detectados en bosques próximos a áreas industrializadas o cercanos a puntos de contaminación, como las áreas de grandes incendios, los cuales pueden tener importantes efectos en la atmósfera baja local al doblar las concentraciones de ozono e incrementar el CO y CO<sub>2</sub> entre 4 y 7 veces respectivamente (Kirchhoff, 1989). La información más frecuente sobre los trópicos y los cambios climáticos se refiere a las evaluaciones sobre los aportes de la zona tropical al CO<sub>2</sub> atmosférico por la tala y quema de bosques, y su función mitigadora del problema como retenedores de carbón (Lugo y Brown, 1980; Woodwell *et al*, 1983; Bunyard, 1985; Houghton *et al*, 1985; Fearnside, 1985; Goreau y De Mello, 1988; Detwilwe y Hall, 1988). La característica más saltante de estos estudios es el notorio y progresivo decrecimiento de la proporción de CO<sub>2</sub> emitido por las regiones tropicales mayormente debido a la tala y quema de bosques (Detwiler y Hall, 1988) por el perfeccionamiento de los cálculos, lo cual mostraría una inicial propensión a la magnificación del problema de contaminación atmosférica por la destrucción de bosques.

En énfasis, el problema del presente nos muestra que los bosques del mundo están desde hace décadas siendo sometidos a una fuerte presión ambiental manifestada en niveles crecientes de contaminación atmosférica sobre los bosques templados que en algunos países están muy afectados; mientras que los bosques tropicales, mucho menos afectados por la contaminación del aire, dan origen a parte del CO<sub>2</sub> ambiental al ser destruidos con fines diversos. La situación de ambos tipos de bosques es preocupante: aquellos con fuerte presión ambiental están en general debilitados y en estas condiciones mucho más expuestos a patógenos, insectos, sequías o cambios climáticos; los que caen ante las presiones demográficas no sólo reducen la posibilidad de almacenamiento de carbón gaseoso en

forma de tejido vegetal sino que contribuyen a aumentar su concentración atmosférica. Knabe (1990) científico y parlamentario alemán del grupo de los “verdes” indica que el efecto invernadero y la actual declinación de los bosques están nítidamente relacionados, tienen las mismas raíces químicas, económicas y psicológicas, muestran efectos interconectados y requieren tratamientos correctivos similares.

## **EL FUTURO DE LOS BOSQUES FRENTE AL CAMBIO GLOBAL**

Un pronóstico promedio de cambio climático a ocurrir en los próximos 100 años significaría un calentamiento de 3°C en este período, el cual presentaría el escenario planetario más cálido de los últimos 100 000 años, y el de mayor velocidad de calentamiento: 15 a 40 veces más rápido que en condiciones naturales previas (Peters, 1990) con la peculiaridad de ser el primero producido por la actividad humana.

En lo que al reino vegetal respecta, el aumento de temperatura y su secuela de aridez, cambios en la pluviosidad, etc. sería una alteración con problemas adicionales derivados, que vendría en segundo lugar, ya que el simple incremento de CO<sub>2</sub> en el aire produciría una serie de cambios notables en el metabolismo, crecimiento y reciclaje de las plantas los cuales se han documentado hace mucho tiempo.

### **El efecto del incremento del CO<sub>2</sub> atmosférico**

La proporción actual del CO<sub>2</sub> atmosférico es de 0,03 por ciento pero esta pequeña presencia relativa es suficiente para considerar a este gas como el factor externo natural que ejerce la mayor influencia sobre la intensidad de la fotosíntesis (Hill *et al*, 1964), punto de partida de la cadena alimenticia de todos los seres vivos, y de hecho la única fuente carbono para la planta, 50 por ciento de cuyo peso seco está constituido por este elemento. Los minerales como los que se añaden en forma de fertilizantes inorgánicos a las plantas, constituyen juntos únicamente del 1 al 10 por ciento de su peso seco. El efecto del CO<sub>2</sub> sobre el desarrollo vegetal puede notarse en experimentos que han logrado incrementar los rendimientos agrícolas en un rango de 30 al 300 por ciento aplicando cantidades adicionales de este gas (Hill *et al*, 1964). Hace 40 a 100 millones de años, cuando los ancestros de los árboles de hoy se encontraban en plena evolución, la concentración de CO<sub>2</sub> llegaba al doble o triple de la concentración actual (Waring y Schlesinger, 1985). Los numerosos experimentos realizados sobre el efecto del CO<sub>2</sub> muestran que los máximos valores de concentración de este gas que estimulan el crecimiento vegetal están entre 0,5 y 1 por ciento

Los esfuerzos de investigación en este campo se han acelerado durante la década pasada, especialmente en los últimos cinco años, y han permitido descubrir intrincadas y específicas formas de respuesta de los vegetales a niveles más altos de dióxido de carbono en su medio ambiente (Perry y Borchert, 1990). Los árboles y las plantas en general alcanzan más altura y producen más ramas, flores y frutos, que a su vez son más grandes. Asimismo, exhiben hojas más gruesas y en mayor número, y emiten sistemas de raíces más extensos para captar más nutrimentos del suelo. Se ha establecido también que con más CO<sub>2</sub> en el aire los estomas se cierran ligeramente, absorbiendo niveles adecuados de CO<sub>2</sub> reduciendo la pérdida de humedad de la planta y permitiéndoles soportar mejor la escasez de agua. En estas condiciones, este comportamiento conduciría a un incremento del Índice de Área Foliar (IAF o LAI), el cual a su vez disminuiría los niveles de luminosidad en los estratos más bajos, limitando las posibilidades de emergencia de plantas heliófitas (IGBP, 1990a). En un experimento realizado en Phoenix, Arizona (Stevens, 1990) se expusieron naranjos a concentraciones de CO<sub>2</sub> dos veces superiores a la normal obteniendo como resultado un volumen total de troncos y ramas casi tres veces superior al de naranjos cultivados en un aire natural. Se ha descubierto también que las plantas que crecen en un ambiente con más CO<sub>2</sub> son más resistentes en algunos aspectos, usan el agua en forma más eficiente y, en razón de su mayor masa, en general pueden soportar mejor los embates del medio. Sin embargo, debido a que el contenido de nitrógeno de las plantas no fertilizadas se diluye cuando el CO<sub>2</sub> estimula su crecimiento (relación C/N), estas serán menos nutritivas. Al respecto, se ha observado que los insectos que se alimentan de estas plantas muestran desarrollo inadecuado y tasas de mortalidad más altas, aun cuando consumen mucho más material de las plantas para compensar las deficiencias. Este fenómeno podría conducir a diezmar poblaciones enteras de insectos y afectaría todo un conjunto de cadenas tróficas. También se vienen reuniendo pruebas de que el mayor volumen de CO<sub>2</sub> podría modificar los calendarios fenológicos de las plantas, lo que alteraría su interacción con los polinizadores, en perjuicio de ambos (Stevens, 1990). En relación a la alterada proporción C/N en las plantas desarrolladas en ambientes ricos en CO<sub>2</sub>, podrían presentarse velocidades más bajas de descomposición de la hojarasca con cambios en la microfauna y microflora del suelo. Asimismo, habría una mayor posibilidad de albergar micorrizas y asociaciones fijadoras de nitrógeno por contarse con mayores fuentes de carbohidratos, estos organismos ayudarían entonces a la planta a crecer en suelos más pobres, y en todo este proceso también se alteraría la química del suelo (IGBP, 1990a).

Es importante anotar que los estudios demuestran claramente que no todas las plantas responden por igual. No todas las plantas absorben CO<sub>2</sub> a la misma velocidad, notándose la diferencia entre dos clases principales de plantas: las C<sub>3</sub> y las C<sub>4</sub>, llamadas así por la diferente forma en que absorben CO<sub>2</sub> en el proceso fotosintético durante su fase oscura (Bidwell, 1979). En la primera etapa de la absorción, las plantas C<sub>3</sub> elaboran una molécula con tres átomos de carbono, mientras que las C<sub>4</sub>, con un mecanismo de asimilación de carbono más eficaz, elaboran una molécula de cuatro átomos. Como las C<sub>3</sub> son menos eficientes en la asimilación de carbono dependen de la simple difusión del CO<sub>2</sub> por sus tejidos. De esta forma, concentraciones más altas del gas contribuyen a esta difusión, pero son menos importantes para una planta C<sub>4</sub>. El resultado es que las C<sub>3</sub> se benefician más que las C<sub>4</sub> de las concentraciones más altas. Experimentos en pastos C<sub>3</sub> y

C4 mostraron para los C3 incrementos en sus tasas fotosintéticas y en su masa del orden del 60-80 por ciento, cuando otros recursos para la fotosíntesis como N y P no eran limitantes. Los pastos C4 no mostraron incremento alguno, pero ambos mostraron mayor eficiencia hídrica. Muchos científicos piensan que las alteraciones y problemas derivados de de mayor concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico pueden ser manejados satisfactoriamente y minimizados en situaciones agrícolas en las predomine un cultivo, y que el CO<sub>2</sub> beneficiará a la agricultura. El panorama de sorprendente crecimiento que se insinúa promete un mundo más exuberante y hasta sugiere que las plantas podrían captar suficiente CO<sub>2</sub> como para estabilizar las concentraciones del aire, aunque a niveles más altos que los actuales (Stevens, 1990).

Entre los países líderes en la producción y comercio mundial de madera, Canadá ha venido estudiando el crecimiento de sus especies principales en ambientes enriquecidos con CO<sub>2</sub> como una forma de prepararse para los cambios que pueda traer el futuro, los cuales afectarían grandemente sus planes de manejo de bosques caracterizados por rotaciones de unos 80 años. Entre otras instituciones, la Universidad de Alberta ha realizado estudios desde fines de la década del 70 para observar la reacción de los dos principales recursos de su provincia pino lodgepole (*Pinus contoria* var. *latifolia*) y abeto blanco (*Picea glauca*). Plántulas de ambas especies en cámaras con niveles de CO<sub>2</sub> de 1000 ppm, casi tres veces lo normal en estos tiempos, mostraron crecimientos acelerados: el abeto creció al triple de su ritmo normal y el pino en forma quintuplicada. Investigaciones adicionales mostraron que la tasa de crecimiento mayor se hallaba entre las 600-700 ppm, nivel que muchos científicos creen que presentará la atmósfera dentro de 50 años (McNaughton, 1989). Otro estudio de la misma institución realizado en álamo temblón (*Populus tremuloides*), especie volumétrica y potencialmente importante en Alberta, mostró crecimientos aún mayores que *P. contorta* y permitió descubrir interacciones entre este crecimiento y los niveles de nitrógeno en el suelo, el cual siendo naturalmente bajo en los suelos forestales de la región en estudio, podría inhibir parte del desarrollo (Brown, 1989). Sin embargo, se debe tener en cuenta que no todos los árboles de Norteamérica responden positivamente al incremento en el CO<sub>2</sub> atmosférico, hay reportes de pino de Florida que con concentraciones de dióxido de carbono que doblan las presentes sufren retrasos en su crecimiento que van del 5 al 10 por ciento (IGBP, 1990). Igualmente se ha encontrado resultados negativos con pinos ponderosa en Oregón, y se ha observado que a pesar que las plantas fotosintetizan más en ambientes cargados, de CO<sub>2</sub>, la conversión de esta fotosíntesis adicional crecimiento neto varía mucho de acuerdo a la especie. Por ejemplo, el arce productor de miel (*Acer saccharum*) tiene una mayor actividad fotosintética que la haya (*Fagus grandifolia*) cuando se duplica la concentración de CO<sub>2</sub>, pero sólo la haya crece más rápidamente ya que el arce trasloca el carbón absorbido en exceso hacia la respiración (Perry y Borchers, 1990). Es importante anotar que estas respuestas se han obtenido en plántulas en crecimiento bajo condiciones controladas, por lo tanto los resultados pueden no ser aplicables a árboles de mayor edad creciendo en el bosque.

Lo que sucedería con las selvas del trópico en un ambiente de mayor cantidad de CO<sub>2</sub> es mucho más difícil de pronosticar. En este escenario natural que no puede ser controlado como un campo agrícola o un bosque templado florísticamente mucho más

homogéneo, los cambios en las ventajas competitivas entre las especies vegetales podrían producir transformaciones de vasto alcance e incluso reducir la diversidad del ecosistema. Se ha descubierto que algunas plantas anuales no se comportan tan bien como otras a mayor CO<sub>2</sub> ambiental, lo que sugiere que aquellas dejarían menos semillas al morir y que perderían su nivel de dominancia. En otros casos se ha observado cambios en la resistencia estructural relativa de cinco especies de árboles tropicales (Stevens, 1990). También en la complejidad de las selvas tropicales las diferencias nutritivas de los tejidos vegetales tendrían efectos en la fauna entomológica y en depredadores mayores, y podrían afectar a poblaciones completas alterando relaciones interespecíficas previas. Las respuestas a las múltiples interrogantes sobre el efecto del incremento del CO<sub>2</sub> atmosférico en los bosques tropicales se encuentran aún en una fase muy especulativa quedando mucho espacio por investigar.

### **Efecto del incremento de la temperatura**

El aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, como ya se ha expresado, conduce al efecto invernadero el cual a su vez motiva la elevación de la temperatura en el ambiente afectado con los consecuentes cambios en los ciclos hidrológico y energético. Esta elevación de la temperatura, que se pronostica más comúnmente de 1.5 a 4.2°C pero que podría ser hasta 10°C en un lapso entre 40 y 80 años (Peters, 1990; Andrasko, 1990), sería variable a nivel regional y local y por lo tanto sus efectos y las tensiones impuestas a la comunidad viviente no serían uniformes. Los cambios realizados indican que los ricos y extensos bosques boreales del norte sufrirían un calentamiento relativo mayor que los bosques que se encuentran más al sur. Según Peters (1990) un calentamiento de 3°C conduciría a la desaparición del 37 por ciento del bosque boreal. También los bosques templados, que actualmente albergan la mayor parte de la industria forestal mundial, serían afectados por cambios importantes. En general, los árboles por ser especies de largo período vegetativo pueden ser particularmente vulnerables a los cambios climáticos. Problemas tales como mayor incidencia de incendios forestales, plagas y enfermedades, actualmente limitados en sus efectos destructivos por condiciones de temperatura y humedad, son especialmente temidos. Se cree que muchos patógenos se adaptarían más rápido a los nuevos hábitats que los mismos bosques y por tanto su amenaza sería mayor (Tangle, 1998). Se debe considerar además que estos bosques de latitudes septentrionales vienen soportando, en el presente, una inclemente contaminación atmosférica que los ha afectado fuertemente. Adicionalmente, cualquier otro tipo de contaminación o alteración más o menos fuerte de origen antrópico o concomitante con el incremento de la temperatura se sumaría al problema y complicaría el cuadro de interacciones y respuestas en un contexto de cambio climático. Entre los procesos que se desencadenarían a raíz de los incrementos de temperatura las variaciones en las lluvias hacia el exceso o la sequía serían los más importantes para el hombre, planta y animales, sobre todo cuando se manifiesten en eventos extremos.

La respuesta de las diferentes especies a los futuros cambios en el clima sería, en principio, similar a las que ocurrieron en el pasado en eventos similares. Sin embargo, hay una gran diferencia en los fenómenos que se esperan debido a la rapidez con que éstos se producirían, que en mucho superarían las “velocidades de adaptación” de las especies para alcanzar nuevas, latitudes y altitudes. Aun descartando problemas de velocidad de migración o dispersión, los cambios climáticos previstos cambiarían los rangos de distribución de las especies desplazándolas cientos de kilómetros de su actual ubicación ecológica. Se da el caso del *Pinus taeda* especie comercial valiosa norteamericana, que debido a los requerimientos de temperatura y humedad de sus plántulas migraría 350 km hacia el norte. Otras especies de estas latitudes entre las que se hallan el arce productor de miel y la haya se retirarían de 600 a 2000 km hacia el norte (Peters, 1990). Por supuesto, en todos los procesos de su adaptación los vegetales estarían acompañados de la fauna silvestre de su entorno, la cual sufriría también los efectos de la temperatura en su comportamiento, funciones e interacciones como predación, parasitismo, competencia, simbiosis, etc. En general, las especies vegetales más expuestas serían aquellas que actualmente sobreviven en territorios fragmentados, en poblaciones reducidas, marginales, con rangos estrechos de distribución debido a presiones demográficas actuales o a previos esfuerzos de desplazamiento, adaptación, adaptación y especiación ecológica. Están en estos casos las especies localizadas en ecosistemas de grandes alturas y en zonas litorales y ribereñas. Estas últimas sufrirían especialmente los efectos de la elevación del nivel de aguas esperado como consecuencia del cambio climático.

Los problemas de adaptación a los cambios se complicarían aún más cuando además de los acelerados desplazamientos que deberían lograr las especies para enfrentar los rápidos obstáculos, se presenten verdaderos obstáculos adicionales creados por el hombre, difíciles o imposibles de superar en algunos casos, tales como áreas agrícolas, urbanizaciones extensas, suelos y aguas degradadas, desiertos, etc. que las plantas o animales encontrarían en su forzada ruta de migración. Estas plantas tendrían menores posibilidades de llegar con éxito a su destino final y, en este caso, el sinergismo entre la destrucción o fragmentación del hábitat y el cambio climático conspirarían acumulativamente contra la supervivencia de la especie (Peters, 1990; Perry y Borchers, 1990).

En los bosques tropicales, los cambios climáticos, aunque aparentemente menos severos que en los bosques templados (quizás calentamientos de 1-2°C), producirían severas alteraciones en su compleja ecología. Andrasko (1990) pronostica un aumento de 28 por ciento en la superficie del bosque tropical. Los principales problemas serían causado por los cambios de las lluvias, especialmente en su estacionalidad, como ya se pudo observar en la Isla de Barro Colorado en Panamá (Hartshorn, citado por WWF, SF) cuando entre 1970 y 1971 más de la mitad de las 154 especies de árboles que normalmente dan frutos entre julio y febrero no lo hicieron debido a la carencia de un período seco suficientemente largo para permitir floración. Esto motivó una gran hambruna en la fauna dependiente de estas especies y muchos animales murieron, otros se extinguieron localmente al migrar en busca de comida, y muchas plantas fueron seriamente dañadas por el ramoneo de la fauna remanente en su búsqueda de tejidos comestibles. Un efecto

adicional de la excesiva lluvia fue que los árboles no perdieron sus hojas, no se renovó la hojarasca, y las poblaciones de artrópodos del suelo, dependientes de aquella, se vieron fuertemente disminuidas. Esto originó que algunos pequeños mamíferos que se alimentan de los artrópodos sufrieran alta mortalidad. De acuerdo a Hartshorn, citado por WWF (s/f), el bosque tropical en general, a pesar de su gran número de especies, posee un sorprendente bajo número de especies clave para su normal funcionamiento en conjunción con aves y mamíferos fungívoros. Estas especies como *Ficus spp.* se caracterizan por fructificar en el período de escasez general de alimento y por lo tanto sus frutos son muy especiales para su fauna dependiente. En estos casos alteraciones fenológicas debidas a cambios de clima pueden conllevar agotamientos locales de poblaciones de diversas especies. Un caso de severo daño potencial por alteraciones climáticas a una especie de importancia económica actual en Brasil y en el sur-este del Perú, es presentado por Mori y Prance (1987) quienes definen la estrecha correlación existente entre la fenología, polinización, dispersión de semillas y otras características de la familia de la nuez de Brasil o castaña (*Lecythidaceae*) y el estado del clima. En general, como consecuencia de la elevación de la temperatura por el efecto invernadero Andrasko (1990) presenta algunas conclusiones de varios autores que señalan que ante el tipo de cambio climático pronosticado es poco probable que sobreviva la actual vegetación de la Amazonía central y meridional, la del sector nororiental de América del Sur, del África occidental, de la parte meridional de las Filipinas, Indonesia, Sarawak, Papua Nueva Guinea y del norte de Australia.

Los impactos de los posibles cambios climáticos en las importantes plantaciones comerciales de *Pinus radiata* de Nueva Zelandia se han estimado en los siguientes efectos: la competencia se verá favorecida; las posibles ganancias en productividad serían recortadas por problemas sanitarios de fuego y vientos mayores; se optaría por rotaciones más cortas; si el incremento de temperatura pasa de cierto nivel el *Pinus radiata* dejaría de ser una especie económicamente atractiva; se generaría desempleo en la industria forestal (Aldwell, 1990).

Luego de todo lo revisado es posible inferir que los efectos de los cambios climáticos no dejarían de afectar seriamente a ningún tipo de bosque cualquiera se su latitud. Sin embargo, es posible deducir también que debido a su mayor complejidad y por se forestas menos conocidas, los pronósticos de lo que puede ocurrir son mucho más inciertos en los bosques tropicales a pesar de que los incrementos de temperatura esperados en estas latitudes sean menores.

## **ESTRATEGIAS Y ALTERNATIVAS PARA ENFRENTAR EL PROBLEMA**

Algunos países que comenzaron a prepararse desde que se dio la primera voz de alarma hace muchos años, tienen muchas investigaciones avanzadas que se han presentado páginas atrás, y en base a estos trabajos pueden plantear su desarrollo futuro. Canadá, Estados Unidos y los países europeos (en especial los escandinavos), en razón a su avance

en las ciencias forestales, tienen suficientes bases científicas y alcances tecnológicos en especialidades claves como la genética forestal y técnicas conexas, y cuentan con variedades mejoradas que pueden desempeñarse mejor en climas hostiles. En este campo Winget (citado por Tangle, 1988) sugiere que es preferible la selección de material de características de crecimiento quizás no muy rápido pero sí adaptado a una amplia gama de condiciones climáticas. Existen también ciertos adelantos en genética forestal aplicados en el trópico que podrían servir de base para apurar soluciones.

La creación de unidades de producción y reservas en rangos climáticos fisiográficos y edáficos lo más amplios posible es otra recomendación aplicable. Asimismo, es necesario qué especies o ecosistemas están amenazados actualmente o estarían en potenciales problemas por los cambios climáticos, de modo que de poder planear estrategias de recuperación o formas de manejo de comunidades sujetas a presiones serias (Peters, 1988).

Es imperativo que el manejo de bosques, así como de pastos y tierras agrícolas incluya estrategias de estabilización de ecosistemas para hacer más fácil la transición de un tipo de comunidad vegetal a otro originado por el cambio de clima. Aunque este modo de actuar puede disminuir rendimientos a corto plazo, otorgará a largo plazo mayor grado de seguridad en un futuro incierto (Perry y Borchers, 1990). Se han identificado como componentes importantes del ecosistema que pueden mantener el medio estable y facilitar migraciones de especies deseables, a la microflora del suelo representada por micorrizas y bacterias de la rizósfera y a la condición estructural y de fertilidad del suelo. Estos factores pueden protegerse manteniendo la biodiversidad y utilizando prácticas de manejo que proteja la relación suelo-planta (Perry *et al*, 1990).

Una de las soluciones más espectaculares que tiene que ver con bosques para mitigar el calentamiento global por incremento de CO<sub>2</sub> atmosférico, es la expuesta por Sedjo (1989) quien propone que se lleve a cabo un programa de reforestación que capture en el tejido de árboles las 2900 millones de toneladas de carbono que se incrementan anualmente en la atmósfera. Para este fin, según el indicado autor, sería necesario plantar 465 millones de hectáreas; unas cinco 3,7 veces la extensión del Perú y una cinco veces la extensión actual total de las plantaciones forestales del mundo. El principal problema, además del costo, sería el problema de encontrar áreas para la colosal plantación. Si se llevara a cabo en la zona tropical, lo cual es muy difícil dadas las condiciones demográficas y las necesidades de tierras agrícolas en estas zonas, costaría US\$ 186 000 millones. De hacerse en la zona templada el costo se duplicaría. Pero el costo menor en el trópico ocultaría el gran costo social temido por Michaels (1989) de transferir la carga de la solución del problema a países subdesarrollados. Una obra de esta naturaleza, de ser factible, estabilizaría el carbón atmosférico por 30-50 años dando tiempo para encontrar otras soluciones, pero causaría una serie de problemas cuando la plantación llegue a su madurez y se considere su renovación. En ese momento habría tal cantidad de madera que se alterarían los mercados mundiales de este producto y se deprimirían sus precios, ya que existirían unos siete millones de metros cúbicos de madera disponibles, equivalentes a más de tres veces los actuales volúmenes de la extracción maderera anual mundial (Sedjo, 1989).

Otra propuesta referida a bosques es presentada por Kyrklund (1990) que parte de explicar la forma de absorción de CO<sub>2</sub> por los árboles (Fig. 3): mientras se de un crecimiento neto se fijará CO<sub>2</sub>; los bosques maduros, que crecen poco, retienen el carbono ya fijado pero no son capaces de absorber más CO<sub>2</sub>; y los bosques que experimentan una pérdida neta de biomasa por la mortalidad debida a su estado decadente, a las enfermedades o al fuego, son emisores netos de CO<sub>2</sub>. Por lo tanto, la alusión frecuente de la prensa a los bosques tropicales como “pulmones del mundo” que parece implicar que dichos bosques absorben más CO<sub>2</sub> en el día en la fotosíntesis, del que emiten por la noche respirando, es sólo cierta en el caso de árboles sanos en crecimiento, pero no necesariamente para todo el bosque. La Fig. 3 representa el crecimiento anual de la biomasa en función de la edad, y dado que la velocidad de absorción CO<sub>2</sub> es directamente proporcional al crecimiento, se deduce que preservar los bosques naturales por medio de su manejo es una manera eficaz de fijar CO<sub>2</sub>. Habría entonces que fomentar la producción industrial de artículos de madera obtenida de manera sustentable de bosques real y debidamente manejados, y en especial de plantaciones de rápido crecimiento. Aumentando el uso de madera de estas plantaciones sería posible incrementar el consumo industrial de madera rolliza en los próximos 10 ó 15 años en no menos del 50 por ciento. De las plantaciones existentes en el trópico se puede obtener elevados rendimientos de madera en gran escala; taladas cada ocho años se obtendrían hasta 3 500 m<sup>3</sup>/ha de madera en un período de 100 años. Esto equivale a siete veces la cantidad de CO<sub>2</sub> que fijaría una superficie similar de bosque natural en un tiempo igual.

La industria forestal y también las empresas industriales productoras de CO<sub>2</sub>, en actitud rara hasta hace poco, han iniciado programas importantes de reforestación para contrarrestar parte de la contaminación que generan. Un ejemplo es la Applied Energy Services (AES) que produce 183 mW quemando carbón en su planta de Connecticut la cual durante sus 40 años de vida útil producirá unas 387 000 toneladas de CO<sub>2</sub> por año. AES inició en junio de 1989 un programa de plantaciones en Guatemala que continuará por 10 años, a un costo de US\$ 15,7 millones que pretende plantar 52 millones de árboles de dos docenas de especies, sobre 78 500 ha. Se calcula que 4,4 km<sup>2</sup> de bosques absorben el carbón generado al producirse 1 Mw de electricidad el cual provee energía para mil hogares promedio de EE.UU. (Kamhis, 1991).

En un reciente estudio Houghton (1990) evalúa las posibilidades de la reforestación para enfrentar el problema del aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico y concluye que los bosques pueden ser una solución definitiva al problema siempre y cuando se detenga la deforestación y los combustibles fósiles se reemplacen por combustibles derivados de la madera. Teniendo en cuenta las mejoras logradas en el uso eficiente de la energía, el uso total de la biomasa y en la producción de combustible derivados de ella como metano o hidrógeno, el citado autor estima que serían necesarias unas 500 a 1000 millones de hectárea a reforestar, superficie que considera se encuentra disponible en el Trópico. Goreau (1990) coincide con parte del análisis anterior y añade que los esfuerzos para limitar las emisiones derivadas de la combustión de combustibles fósiles por sí solos son insuficientes para estabilizar los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, para lo cual se requiere un conjunto de medidas para balancear las fuentes de contaminación con la absorción de la

misma. Esto sólo se lograría con inversiones de gran escala para aumentar la productividad sostenible en suelos tropicales degradados y en investigación a largo plazo sobre energía renovable y productos energéticos de la biomasa. El gasto de esta empresa en una década alcanzaría entre US\$ 15 y 39 mil millones el cual, en un análisis preliminar del beneficio/costo, se muestra factible y que resultaría mucho más económico que una simple inacción.

Existen otras estrategias y alternativas novedosas para contrarrestar los cambios globales que se debaten en los últimos tiempos como aquella que considera la fertilización de los mares con hierro (Fe) en las zonas de mayor producción de fitoplancton como la Antártida (Keir, 1991), conociendo que estas formas vegetales elementales por su gran biomasa poblacional total y su gran actividad fotosintética estacional, son el mayor determinante del flujo biológico de CO<sub>2</sub> en este caso atmósfera-hidrosfera-fondos marinos (Smithe, 1990; Gillis, 1991; Williamson y Platt, 1991). Esto se propuso luego de haberse observado que el Fe es un elemento deficitario y limitante en el desarrollo del fitoplancton en los océanos.

Con el fin de lograr como acción fundamental la disminución de la quema de combustibles fósiles se ha planteado repetidas veces cargar a estos combustibles con fuertes impuestos, lo cual sería de improbable aplicación en muchos países, como en el Perú que ya recarga a los combustibles fuertes tasas con fin de aumentar significativamente la recaudación fiscal. Sin embargo, según Goreau (1990), sería posible añadir a los precios del petróleo, gasolina, gas, etc., los costos reales de limpiar el ambiente, que globalmente per cápita es sólo una pequeña fracción de los actuales impuestos. En los últimos días se ha vuelto a plantear en foros internacionales el asunto de los “impuestos especiales al carbono” con el fin de cuadruplicar el precio del carbón y duplicar el del petróleo y el gas natural (Diario “El Comercio”, Lima, Perú, Nov. 23, 1991). La forma de compensar las necesidades energéticas del planeta al disminuir el uso de carbón, petróleo o gas sería usar energías más limpias y renovables como la solar, la eólica, la geotérmica, la hidroeléctrica o los biocombustibles. Para el IPCC el siglo XXI será el siglo de la energía solar. Igualmente, para las altas demandas energéticas más urgentes se replantea la posibilidad de la energía nuclear y ya se dispone de la tecnología para reactores de alta seguridad, casi a prueba de errores humanos (Miller, 1991). Es interesante indicar que el repentino énfasis en considerar como causante principal del problema climático global a los combustibles fósiles y las presiones para reducir su consumo, ha causado curiosamente y por primera vez un tenaz y encendido ataque a las predicciones del efecto invernadero por parte de la gran industria de los EE.UU. (Pearce, 1991a).

## **CONCLUSIONES**

Los cambios globales manifestados en los registros meteorológicos convencionales por la tendencia al acelerado calentamiento atmosférico de la Tierra, son procesos que aunque no tienen un respaldo de consenso total en la comunidad científica mundial, son

considerados inminentes por las principales instituciones de investigación atmosférica del mundo. Voceros de estas instituciones urgen a tomar rápida acción frente a pronósticos de eventos climáticos nunca antes experimentados, cuyas consecuencias para la biósfera y para el género humano son difíciles de adelantar con precisión dada su complejidad y originalidad, aún para los modelos computarizados más sofisticados.

A pesar del margen de incertidumbre, ya existe a nivel internacional una gran actividad para apoyar los esfuerzos de conocimiento y predicción de la naturaleza del cambio global del ambiente, así como para divulgar sus posibles consecuencias y las formas más adecuadas para hacerles frente. El Programa Internacional Geósfera-Biósfera (IGBP) es una de las instituciones de base científica creadas para este fin, con acciones globales, regionales y nacionales con proyecciones para 20 años a partir de 1991. Otra entidad muy importante e influyente en la lucha contra cambios globales es el Panel Intergubernamental sobre Cambios Climáticos (IPCC), organizado y apoyado por las Naciones Unidas a través de la Organización Meteorológica Mundial (WMO) y su Programa para el Medio Ambiente (UNEP). IPCC representa el primer esfuerzo intergubernamental para evaluar el problema con la contribución de más de 1000 científicos de 70 naciones.

El problema del cambio global en sus actuales proyecciones, probables consecuencias y posibles soluciones es un asunto muy sensible a la política internacional con grandes implicancias económicas y sociales (Arrhenius y Waltz, 1990). Las diversas actitudes de los científicos y políticos se resumen en la necesidad urgente de acciones concretas sostenida por el grupo más sonoro y visible (Gribbin, 1990; MacNeill, 1990) que anuncia el calentamiento, y también en la minoría que, en el extremo opuesto, previene contra el enfriamiento (Windelius, 1990); en el llamado a una calmada y prudente reflexión (Michaekls, 1990; Ray, 1989) y en prácticamente la inacción considerando que la naturaleza se podría cuidar por sí sola (Kerr, 1989).

A pesar de la similitud fundamental de los eventos del pasado forestal de la Tierra, con los que estarían por venir, las condiciones del presente, la comprimida escala de tiempo y el activo protagonismo de la especie humana en el problema, dan a los cambios climáticos esperados para las próximas décadas una condición tal que nos permite basarse en los registros del pasado para pronosticar efectos en los bosques del futuro.

Sin desconocer las diferencias geográficas climáticas y morfológicas existentes entre bosques de distintas latitudes, es posible y deseable aprovechar las abundantes investigaciones realizadas en bosques templados para inferir resultados sobre el efecto de los cambios atmosféricos y climáticos en los bosques tropicales, hasta donde el sentido común del especialista, la ecología y la fisiología vegetal lo permitan.

Los incrementos en la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico por sí solos producen importantes cambios en la función fotosintética de la planta que en muchos casos aceleran la activamente el desarrollo de su biomasa aumentan su vigor. La tendencia hacia el aumento progresivo de la temperatura hace que las condiciones de vida óptimas de la planta

cambien y esta se extinga en la zona del cambio si este es extremo, migre hacia hábitats más convenientes o evolucione si el tiempo lo permite. Cambios bruscos en tiempos cortos implicarían extinción local de especies sensibles, debilitadas o marginales de flora y fauna, sobre todo en ecosistemas naturales. La ayuda del hombre en la migración y dispersión de las especies sería una acción a considerar.

En el bosque tropical hay mucho que investigar e el extenso campos de las ciencias forestales. En lo que al cambio global se refiere las áreas de ecología, hidrología, fisiología y genética forestal serían claves para la obtención de datos que aporten luces a los modelos ensayados. En el ámbito de la actividad forestal es de especial importancia considerar los posibles efectos del cambio global en el futuro, dados los ciclos productivos o rotaciones dilatadas de los bosques especialmente en condiciones de latitudes o altitudes mayores más expuestas a los cambios. Las predicciones revisadas, las actuales circunstancias de los bosques del mundo, y las variadas propuestas de solución al potencial problema a del cambio climático basadas en el recurso forestal o en sus productos derivados, crean un muy serio y nuevo reto al ingeniero forestal quien debería replantear las bases de su formación y modo de operación (Dourojeanni, 1990) teniendo en cuenta la necesidad de un tipo de profesional con mayor experiencia y conocimiento interdisciplinarios (IGBP, 1991).

La dificultad de lograr pronósticos acertados considerando todos los posibles eventos que contribuyan al cambio global pudo notarse durante el tiempo que tomó la preparación de este documento. En este lapso comenzó y concluyó la guerra del Golfo dejando, según las informaciones periodísticas, más de 700 pozos petroleros en llamas que estuvieron ardiendo por casi un año, entre otras penurias y desastres ambientales que tomarán mucho tiempo en recuperarse (Canby, 1991). También en ese período se activaron varios volcanes en el mundo, en Japón, Filipinas, Hawai y en Perú (el Sabancaya y otros del área del Colca).

De acuerdo con Perry y Borchers (1990) y como lo demuestra la historia, sería imprudente ignorar potenciales alteraciones del clima particularmente cuando estas se dan junto con prácticas abusivas del uso de la tierra. Hace algunos miles de años el norte de África y el medio-este fueron fértiles despenas agrícolas con extensos bosques en sus tierras altas; en estas zonas los efectos interactuantes y mutuamente reforzados de cambios climáticos, sobrepastoreo y deforestación resultaron en los áridos desiertos que hoy dominan la región. A pesar de la incertidumbre que rodea a los pronósticos del cambio climático, se debería optar una estrategia y actuar ahora, esperar que las inciertas tendencias lleguen a ser verdades probadas podría resultar en un valioso tiempo perdido.

## BIBLIOGRAFIA

- ABELSON, P.H. 1990. Uncertainties About Global Warning, *Science* 247: 1529 (Editorial).
- ABSY, M.L. 1985 Palynology of Amazonia: The History of the Forests as Revealed by the Palynological Record. En: Amazonia, Edits, G.T. Prance y T.E. Lovejoy, Cap. 4, IUCN, Pergamon Press, pp 72-82.
- ALDWELL, P.H.B. 1990. Impacts of climate change on the New Zealand forest industry, *Actas del XIX Congreso Mundial de IUFRO*, Vol. 1, pp. 246-257.
- ALTIERI, M.A. s/f ¿Cuán común es nuestro futuro común?, *Medio Ambiente* 43: 29-33.
- ANDRASKO, K. 1990. El recalentamiento del globo terráqueo y los bosques estado actual de los conocimientos, *Unasyuva* 163, 41(4):3-11.
- ANTONIOS, P. 1990. Recalentamiento Global: Los Jugadores principales, *Ceres* 22 (1): 27-29.
- ARRHENIUS, E.; WALTZ, T.W. 1990. Greenhouse Effect: Implications for Economic Development, Banco Mundial Discussion Paper N° 78, 26 pp.
- BECKER, M. 1989. The Role of Climate on Present and Past Vitality of Silver Fir Forests in the Vosges Mountains of Northeastern France, *Canadian Journal of Forest Research* 19 (9) : 1110-1117.
- BIDWELL, R.G. 1979. Fisiología Vegetal, A.G.T. Editor, México D.F. 784 pp.
- BROWN, K. 1989. Effect of Atmospheric CO<sub>2</sub> Enrichment and N Availability on Growth, Water Use, and Nutrition of Seedlings of Boreal Trees, Tesis Ph.D. Universidad de Alberta, Edmonton.
- BUNYARD, P. 1985. World Climate and Tropical Forest Destruction, *The Ecologist* 15 (3) :125-136.
- BUSH, M.B.; COLINVAUX, P.A. 1988. A 7000-year Pollen Record from the Amazon Lowlands, Ecuador, *Vegetation* 76: 141-154.

- CAMBY, T.Y. 1991. After the Storm, National geographic. 180(2):2-35.
- CARDETTINI, O. s/f. Muchos discursos y poca acción, Medio Ambiente 43: 26.
- COX N.S. 1991. Earth in 1990 warmest ever, Diario The Spokasman Review, Spokone, Washington, 10/01/91, A3.
- DE STEIGNER, J.E.; PYE, J.M.; LOVE, C.S. 1990. Air Pollution Damage to U. S. Forests, Journal of Forestry 88 (8) : 17-22.
- DETWILER, R.P.; HALL, C.A.S. 1988. Tropical Forests and the Global Carbon Cycle, Science 239: 42-47.
- DICKINSON, R.E. (Editor) 1987. The Geophysiology of Amazonia, J. Wiley & Sons, New York, 526 pp.
- \_\_\_\_\_; VIRJI, H. 1987. Climate Change in the Humid Tropics, Especially Amazonia, Over the Last Twenty Thousand Years. En: The Geophysiology of Amazonia Edit. R.E. Dickinson, J. Wiley & Sons, New York, pp 91-101.
- DOUROJEANNI, M. 1990. Research needed to counteract deforestation in the humid tropics, Actas del XIX Congreso Mundial de IUFRO, Montreal, Informe B, pp. 185-194.
- \_\_\_\_\_. 1990a. Amazonia, ¿Qué hacer?, CETA, Iquitos, 390 pp.
- FEARNSIDE, P.M. 1985. Brazil's Amazon Forests and the Global Carbon Problem, Interciencia 10 (4) : 179-186.
- FRYE, R. 1983. Climatic Change and Fisheries Management, Natural Resources Journal 23: 77-96.
- GILLIS, A.M. 1991. Why can't we balance the globe carbon budget?, BioScience 41(7):442-447.
- GOREAU, T.J.; DE MELLO, W.Z. 1988. Tropical Deforestation: Some Effects on Atmospheric Chemistry, Ambio 17 (4): 275-281.
- \_\_\_\_\_. 1990. Balancing Atmospheric Carbon Dioxide, Ambio 19(5):230-236.
- GRIBBIN, J. 1990. Why Caution is Wrong on Global Warning? New Scientist 127:18.

- HAMBURG, S.P.; COGBILL, C.V.  
1988. Historical Decline of Red Spruce Populations and Climatic Warning, *Nature* 331: 428-431.
- HANSEN J.; LACIS, A.; LEBEDEFF, S.; LEE, P.; RIND, D.; RUSSEL, G. 1981. Climate Impact of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide, *Science* 213: 957-966.
- HILL, J.B.; OVERHOLTS, L.O.; POPP, H.W.; GROVE, A.R Jr. 1964. *Tratado de Botánica* (Trad J. Pons Rosell) Omega S.A Barcelona, 747 pp.
- HINRICHSSEN, D. 1987. The Forest Decline Enigma, *BioScience* 37(8): 542-546.
- \_\_\_\_\_. 1991. Combatiendo el Efecto Invernadero, *Noticias WWF* N° 12:4-5.
- HOUGHTON, R.; BOONE, R.; MELILLO, J.; PALM, C.; WOODWELL, G.; MYERS, N.; MOORE, B. III.; SKOLE, D. 1985. Net Flux of Carbon Dioxide from Tropical Forests in 1980, *Nature* 316:617-620.
- \_\_\_\_\_. 1990. The Future Role of Tropical Forest in Affecting the Carbon Dioxide Concentration of the Atmosphere, *Ambio* 19(4): 204-209.
- HURLEY, B.J. 1991. Focus Report: Greenhouse Skeptics Make Their More, *Global Environmental Change Report* 3(5):1.
- IGBP. 1990. Proceedings of the Workshops of the Coordinating Panel on Effects of Global Change on Terrestrial Ecosystems, *Informe N° 11*, Estocolmo, 108 pp.
- \_\_\_\_\_. 1990a. The International Geosphere-Biosphere Programme: A Study of Global Change, The Initial Core projects, *Informe N° 12*, Estocolmo, 12 caps.
- \_\_\_\_\_. 1991. Plant-Water Interactions in Large Scale Hydrological Modelling, *Informe Nro,17*, Estocolmo, 44 p.
- JORDAN, C.F. (Editor) 1987. *Amazonian Rain Forests, Ecosystem Disturbance and Recovery*, *Ecological Studies* Vol. 60, Springer-Verlag, 133 pp.

- KAMHIS, J. 1991. Tropical trees mitigate First World pollution, *World Wood* 32(3):19.
- KEIR, R.S. 1991. Ironing out greenhouse effects, *Nature* 349:198.
- KERR, R.A. 1989. Greenhouse Skeptic Out in the Cold, *Science* 246: 1118-1119.
- \_\_\_\_\_. 1991. Global Temperature Hits Record Again, *Science*. 251:274.
- KIRCHHOFF, V.; 1989. Biomass Burning in Amazonia: Production of CO<sub>2</sub>, CO, and O<sub>3</sub>, its Global Impact. En: *Amazonia; Facts, Problems and Solutions*, USP, INPE, SELPER, Sao Paulo, pp. 276-297.
- KNABE, W. 1990. Forest decline and greenhouse effects have the same roots, *Actas del XIX Congreso Mundial de IUFRO*, Montreal, Vol,1 pp. 271-282.
- KYRKLUND, B. 1990. Como pueden contribuir los bosques y las industrias forestales a reducir el exceso de anhídrido carbónico en la atmósfera, *Unasyva* 163, 41(4): 12-14.
- LANLY, J.P.; SINGH, K.D.; JANZ, K. 1991. FAO's 1990 reassessment of tropical forest cover, *Nature & Resources* 27(2):21-26.
- LASHOF, D.A. 1989. The Dynamic Greenhouse: Feedback Processes that May Influence Future Concentrations of Atmospheric Trace Gases and Climatic Change, *Climatic Change*. 14: 213-242.
- LIU, K. -b.; COLINVAUX, P.A. 1985. Forest Changes in the Amazon Basin During the Last Glacial Maximun, *Nature* 318: 556-557.
- LONGMAN, K.A.; JENIK, J. 1987. Tropical Forest and its Environment (2da Edic.), Longman Scientific & Technical, Singapur, 347 pp.
- LUGO, A,E.; BROWN, S. 1980. Tropical Forest Ecosystems: Sources or Sinks of Atmospheric Carbon?, *Unasyva* 129, 32: 8-13.
- MACKENZIE, J.J.; EL-ASHRY, M.T. 1989. Ill Winds, Air Pollution's Toll on Trees and Crops, *Technology Review* 92 (3): 64-71.

- MacNEILL, J. 1990. Global Warning and Sustainable Development, Conferencia Regional sobre Calentamiento Climático, Sao Paulo Junio 18,10 pp.
- MADDOX, J. 1990. Clouds and Global Warning, *Nature* 347 : 329.
- MANI, A. 1990. Global Warning - Satellite Data Should Make Advocates Cool Their Heels, *Current Sciences* 59 (8) : 397.
- MATHEWS, S.W. 1990. Under the Sun, Is Our World Warning? *National Geographic* 178 (4) : 66-99.
- Mc KIBBEN, B. 1990. El fin de la naturaleza. Ed. Diana, México D.F. 241 p.
- McLAREN, C. 1987. Pollution slows forest growth 66%, study says, *Diario The Globe and Mail*, Toronto, 30/01/87, A1-A2.
- McNAUGHTON, N. 1989. Living with the Greenhouse Effect, *Agriculture & Forestry Bulletin*, Universidad de Alberta 12 (1) : 3-5.
- MICHAELS, P.J. 1989. The Greenhouse Effect: Chicken Little and Our Response to "Global Warning", *Journal of Forestry* 87 (7) : 35-39.
- \_\_\_\_\_; HAYDEN, B.P. 1987. Modelling the Climate Dynamics of Tree Death, *BioScience* 37 (8) : 603-610.
- MILLER, P. 1991. Our Electric Future, A Comeback for Nuclear Power?, *National Geographic* 180(2): 60-89.
- MONIER, F. 1990. ¿La perspectiva es la hambruna?, *Ceres* 22 (1) : 15-18.
- MORI, S.A.; PRANCE, G.T. 1987. Species Diversity, Phenology, Plant Animal Interactions, and Their Correlation With Climate, as Illustrated by The Brazil Nut Family (Lecythidaceae). En: *The Geophysiology of Amazonia*, Edit. R.E. Dickinson, J. Wiley & Sons, New York, pp. 69-89.
- MUELLER-DOMBOIS, D. 1987. Natural Dieback in Forests, *BioScience* 37 (8) :575-583.

- MUNGALL, C.; Mc LAREN, D.J.  
1990. Planet under stress: The challenge of global change, The Royal Society of Canada, Oxford Univ. Press. 337 p.
- MYERS, N. 1984. The Primary Source, Tropical Forest and Our Future, W.W. Norton & Co., New York, 399 pp.
- NEAL, P. 1989. The Greenhouse Effect and Ozone Layer, Dryad Press, London, 64 pp.
- NOBRE, C.; SHUKLA, J.; SELLERS, P. 1989. Impactos climáticos do desmatamento da Amazonia, *Climanálise* 4(9):44-55.
- PEARCE F. 1989. Turning Up the Heat, The Rodley Head Ltd., London, 230 p.
- \_\_\_\_\_. 1991. Warmer Winters Fit Greenhouse Model, *New Scientist* 129:20.
- \_\_\_\_\_. 1991a. US Industry Attacks Greenhouse Predictions, *New Scientist*. 132:10.
- PERRY, D.A.; BORCHERS, J.G. 1990. Climate Change and Ecosystem responses, *The Northwest Environmental Journal* 6(2): 293-313.
- \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; BORCHERS, S.L.; AMARANTHU, M,P. Species Migrations and Ecosystem Stability During Climate Change: The Belowground Connection, *Conservation Biology* 4(3):266-275.
- PETERS, R.L. 1990. Effects of Global Warming on Forest, *Forest Ecology and Management* 35 : 13-33.
- \_\_\_\_\_. 1988. The Effect of Global Climatic Change on Natural Communities, En: Biodiversity, Edit. E.O. Wilson, Nat. Acad. Press, Washington D.C., Cap. 51, pp. 450-461.
- \_\_\_\_\_.; DARLING, J.D. 1985. The Greenhouse Effect and Nature Reserves, *BioScience* 35 : 707-717.
- PRANCE, G.T.; LOVEJOY, T.E. (Editores) 1987. Amazonia, Key Environments IUCN, Pergamon Press, 442 pp.
- RASANEN, M.E.; SALO, J.S.; KALLIOLA, R.J. 1987. Fluvial Perturbance in the Western Amazon

- Basin: Regulation by Long-Term Sub-Andean Tectonics, *Science* 238 : 1398-1401.
- RAUP, D.M. 1988. Diversity Crises in the Geological Past. En: Biodiversity Edit. E.O. Wilson, Nat. Acad. Press, Washington D,C., Cap. 5, pp 51-57.
- RAY, D.L. 1989. What is True About Global Warning?, *Policy Review*, Summer Issue : 64-67.
- ROBERTS, L. 1989. How fast can trees migrate? *Science* 243 : 735- 737.
- SALATI, E.; VOSE, P.B. 1984. Amazon Basin: a system in equilibrium, *Science* 225:129-138.
- SEDJO, R.A. 1989. Forests to Offset the Greenhouse Effect, *Journal of Forestry* 87 (7) : 12-15.
- SIOLI, H. (Editor). 1984. The Amazon. Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin, Dr. W.Junk Publishers, Boston, 763 pp.
- SMITH, W.H. 1985. Forest & Air Quality, *Journal of Forestry* 83 (2): 83-92.
- SMYTHE, M.A. 1990. El Papel de los Océanos, *Ceres* 22 (1) : 22-26.
- SPENCER, R.W.; CHRISTY, J.R. 1990. Precise Monitoring of Global Temperature Trends from Satellites, *Science* 247 : 1558-1562.
- STEVENS, W.K. 1990. El Reino Vegetal en Peligro, *Diario El Mercurio*, Santiago de Chile 20/10/90, D5.
- SUTTON, S.L.; WHITNORE, T.C.; CHADWICK, A.C. (Editores) 1983. Tropical Rain Forest: Ecology and Management, Special Publication N° 2, British Ecological Society, Blackwell, Oxford, 498 pp.
- TANGLEY, L. 1988. Preparing for Climate Change, *BioScience* 38 (1): 14-18.
- UICN, PNUMA.; WWF. 1990. Sustentabilidad : Una Estrategia para Cuidar el Planeta (Segundo borrador), UICN Gland, 289 pp.
- UNESCO.; UNEP.; FAO. 1978. Tropical Forest Ecosystems, Natural Resources Research Series XIV, UNESCO, París, 683 pp.

- UNGER, T. 1990. Vida y Ecología, Fotosíntesis y Vida, Diario El Comercio, Lima, 04/12/90 C1.
- WARING, R.H.; SCHLESINGER, W.H. 1985. Forest Ecosystems, Concepts and Management, Academic Press, London, 340 pp.
- WHALEN, S.C.; REEBURGH, W.S. 1990. Consumption of Atmospheric Methane by Tundra Soils, Nature 346 : 160-162.
- WILLIAMSON, P.; PLATT, T. 1991. Ocean Biogeochemistry and Air-Sea CO<sub>2</sub> Exchange, Global Change Newsletter Nro 7:3-4.
- WINDELIUS, G. 1990. El Sol, señor de escalofriante poder: efectos futuros probables de la actividad solar sobre el clima, Unasyuva 163, 41(4):15-21.
- WOODS, S. 1991. Política versus Ciencia en Conferencia sobre Clima, Noticias WWF N° 12 : 1.
- WOODWELL, G.M.; HOBBIE, J.E.; HOUGHTON, R.A.; MELILLO, J.M.; MOORE, B.; PETERSON, B.J.; SHAVER, G.R. 1983. Global Deforestation: Contribution to Atmospheric Carbon Dioxide, Science 222 : 1081-1086.
- WRI.; IIED.; UNEP. 1988. World Resources 1988-1989, Basic Books Inc., New York, 372 pp.
- WWF s/f. Climate Change, WWF Gland, 17 capítulos.

#### AGRADECIMIENTOS

A mi esposa Bati, a Dalia Tuesta, a Cruz Ruiz y Agustín Abad por su contribución en la preparación de este documento.

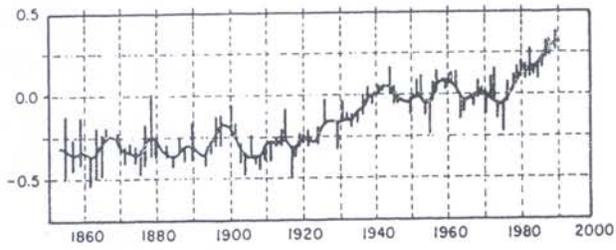


Fig. 1. Calentamiento global en °C (Kerr, 1991)

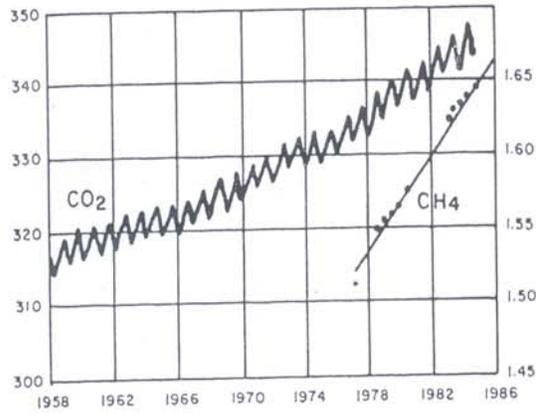


Fig. 2. Incrementos observados en  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  atmosféricos en ppm (IGBP, 1990a). Las oscilaciones en la curva de  $\text{CO}_2$  están relacionadas con la absorción de  $\text{CO}_2$  durante el verano (fotosíntesis) del hemisferio norte y su emisión en invierno por causas naturales y por la quema de combustibles fósiles para calefacción. La quema de bosques podría tener un efecto adicional.

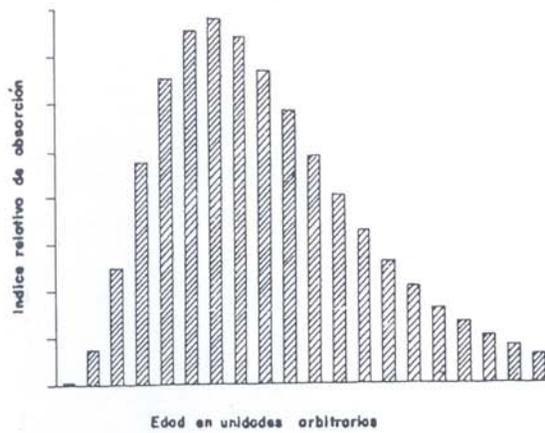


Fig. 3. Índice relativo de fijación de  $\text{CO}_2$  por el bosque (Kyrklund, 1990)