

Foto de la portada: Palmeras y vegetación forestal en la Isla de la Digue, Seychelles. Los bosques en las pequeñas islas pueden ser susceptibles a algunos efectos, pronosticados pero inciertos, provocados por los cambios climáticos, incluyendo el aumento del nivel del mar y una mayor frecuencia e intensidad de las tormentas.

Cambio climático,
bosques y
ordenación forestal
Una visión de conjunto

por

William M. Ciesla

Oficial forestal (protección forestal)

Dirección de Recursos Forestales

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

M-08
ISBN 92-5-303664-8

Reservados todos los derechos. No se podrá reproducir ninguna parte de esta publicación, ni almacenarla en un sistema de recuperación de datos o transmitirla en cualquier forma o por cualquier procedimiento (electrónico, mecánico, fotocopia, etc.), sin autorización previa del titular de los derechos de autor. Las peticiones para obtener tal autorización, especificando la extensión de lo que se desea reproducir y el propósito que con ello se persigue, deberán enviarse al Director de Publicaciones, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia.

© FAO 1995

PREFACIO

Los cambios en el clima mundial, debidos al aumento de la concentración de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre, tienen el poder de afectar significativamente a los bosques y a la silvicultura. La posibilidad de que se verifiquen cambios climáticos es una de las preocupaciones ambientales más importantes del momento. El problema es complejo y lleno de incertidumbres y la información disponible es frecuentemente confusa y contradictoria.

El clima es el factor clave que determina la distribución de la vegetación. Por lo tanto, la relación existente entre el cambio climático, la conservación y el desarrollo de los bosques mundiales es un problema fundamental que es necesario considerar. Los bosques pueden contribuir al efecto invernadero, pueden ser afectados por el cambio climático y, asimismo, ofrecen medios para mitigar dicho fenómeno.

Es importante para los ingenieros forestales comprender el problema del cambio climático y sus implicaciones. Este documento, que se presenta bajo forma de preguntas y repuestas, tiene como objetivo ser un punto de referencia general acerca del cambio climático y de los bosques. Las respuestas se basan en la actual literatura mundial sobre el tema, incluidos los análisis más recientes realizados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (IPCC). Esperamos que los planificadores y administradores forestales encuentren este libro útil para la preparación y ejecución de sus programas y para aconsejar a quienes deben tomar decisiones al respecto.



J.P. Lanly, Director
Dirección de Recursos Forestales
Departamento de Montes

AGRADECIMIENTOS

Se agradecen los comentarios útiles y constructivos de las personas que revisaron este documento.

Algunas de las revisiones externas fueron realizadas por **M. Fosberg**, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal, Washington D.C.; **S. Brown**, US EPA, Corvalis, Oregón, EE.UU. y **M. Hosny El Lakany**, Centro para el Desarrollo del Desierto, Universidad Americana, Cairo, Egipto.

Revisiones internas (FAO) fueron realizadas por **W. G. Sombroek**, Director de la Dirección para el Fomento de Tierras y Aguas y Presidente del Grupo de Trabajo Interdepartamental sobre Cambios Climáticos; **R. Gommès**, Coordinador del Grupo Agrometeorológico, Centro de Telepercepción; **J. P. Lanly**, Director de la Dirección de Recursos Forestales; **C. Palmberg-Lerche**, Jefe del Servicio para el Desarrollo de Recursos Forestales; **J. Ball**, Oficial Superior (Plantaciones Forestales); **S. Braatz**, Oficial en Agrosilvicultura y Utilización del Suelo; **P. Vantomme**, Oficial en Ordenación Forestal; **D. Dykstra**, Oficial en Utilización Forestal (actualmente en CIFOR, Bogor, Indonesia); **M. Trossero**, Oficial en Energía de las Maderas; **C. Chandrasekharan**, Oficial en Productos Forestales no Madereros y **D. Suparmo**, Asesor del Programa de Acción Forestal en los Trópicos.

Se agradece en modo particular a **J. B. Harrington**, precedentemente en el Instituto Nacional Forestal de Petawawa, Ontario, Canadá, por su ayuda en la edición técnica del manuscrito y a **F. Monti**, Bibliotecaria del Departamento de Montes de FAO, quien asistió en el acceso a la abundante bibliografía disponible acerca del cambio climático.

CONTENIDOS

PREFACIO	i
AGRADECIMIENTOS	ii
CONTENIDOS	iii
LISTA DE ACRÓNIMOS	xi
LISTA DE TABLAS	xiv
LISTA DE CUADROS	xv
LISTA DE FIGURAS	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 - EL CLIMA TERRESTRE - UNA ENTIDAD DINÁMICA	4
1. ¿CUÁL ES LA DEFINICIÓN DE TIEMPO Y CLIMA?	4
2. ¿HASTA QUÉ PUNTO EL CLIMA TERRESTRE HA CAMBIADO DURANTE EL CURSO DE LA HISTORIA GEOLÓGICA? .	4
3. ¿CUÁLES CAMBIOS SE HAN VERIFICADO EN EL CLIMA TERRESTRE DESDE EL INICIO DE LA HISTORIA HUMANA CONOCIDA?	7
4. ¿CUÁLES FACTORES PUEDEN CAUSAR CAMBIOS EN EL CLIMA TERRESTRE?	8
CAPÍTULO 2 - EL EFECTO INVERNADERO	16
5. ¿QUÉ ES EL EFECTO INVERNADERO Y CÓMO INFLUENCIA AL CLIMA TERRESTRE?	16

6. *¿CUÁLES GASES CAUSAN EL EFECTO INVERNADERO Y CUÁLES SON LAS FUENTES DE ESTOS GASES?* 19

7. *¿CUÁL ES LA IMPORTANCIA DE LAS FUENTES HUMANAS DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO?* 23

8. *¿TIENEN TODOS LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO EL MISMO EFECTO DE CALENTAMIENTO?* 24

9. *¿QUÉ PRUEBAS EXISTEN QUE DEMUESTREN QUE LOS NIVELES ATMOSFÉRICOS DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO ESTÁN AUMENTANDO?* 24

10. *¿CUÁLES SON LOS PAÍSES QUE HOY CONTRIBUYEN MÁS A AUMENTAR LOS NIVELES DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO?* 27

11. *¿CÓMO LOS AEROSOLES PUEDEN CONTRARRESTAR LOS EFECTOS DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO? 27*

CAPÍTULO 3 - CAMBIOS PRONOSTICADOS EN EL CLIMA TERRESTRE Y EFECTOS ESPERADOS 29

12. *¿CUÁLES SON, EN GENERAL, LOS EFECTOS PRONOSTICADOS DEBIDO A LOS MAYORES NIVELES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO?* 29

13. *¿CÓMO SE PRONOSTICAN LOS CAMBIOS EN EL CLIMA TERRESTRE?* 29

14. *¿CUÁNTO CONFIABLES SON LAS PREVISIONES ACTUALES DE CAMBIO CLIMÁTICO?* 32

15. *¿CUÁLES CAMBIOS CLIMÁTICOS SE PREVÉN SI SE DUPLICAN LOS NIVELES DE CO₂ QUE CARACTERIZABAN EL PERÍODO PREINDUSTRIAL?* 33

16. *¿EL CLIMA DE ALGUNAS REGIONES CAMBIARÁ MÁS QUE*

-
17. *¿QUÉ CAMBIOS SE PREVÉN EN EL NIVEL DE LOS OCÉANOS DEBIDO AL CAMBIO CLIMÁTICO? 36*
18. *¿CÓMO SERÁN AFECTADAS LAS PLANTAS, INCLUYENDO LOS ÁRBOLES, POR LOS CAMBIOS EN LOS NIVELES ATMOSFÉRICOS DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO Y POR LOS CAMBIOS RESULTANTES EN LAS TEMPERATURAS Y PRECIPITACIONES? 37*
19. *¿CÓMO SERÁN AFECTADOS LOS SUELOS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO? 40*
20. *¿HAY PRUEBAS DE QUE, DEBIDO AL AUMENTO DEL NIVEL DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO, LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS YA SE ESTÁN PRODUCIENDO? 41*

CAPÍTULO 4 - EL CICLO GLOBAL DEL CARBONO 44

21. *¿CUÁLES PROCESOS EXISTEN PARA EL INTERCAMBIO DE CARBONO ENTRE LA ATMÓSFERA, LOS OCÉANOS Y LA TIERRA? 44*
22. *¿CÓMO SE EXPRESAN LOS INTERCAMBIOS DE CARBONO ENTRE LOS DISTINTOS DEPÓSITOS? 45*
23. *¿CUÁL ES EL NIVEL ACTUAL DE INTERCAMBIO DE CARBONO ENTRE LA ATMÓSFERA, LOS OCÉANOS Y LA TIERRA? 47*

CAPÍTULO 5 - LOS ÁRBOLES Y LOS BOSQUES COMO FUENTES Y SUMIDEROS DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO Y DE CARBONO 50

24. *¿ACTUALMENTE CUÁNTA SUPERFICIE TERRESTRE ESTÁ CUBIERTA POR BOSQUES Y POR OTRAS TIERRAS ARBOLADAS? 50*

25. *¿CUÁLES PROCESOS SE VERIFICAN EN LOS ÁRBOLES Y EN LOS BOSQUES QUE CONTRIBUYEN A CAMBIAR LOS NIVELES ATMOSFÉRICOS DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO?* 51
26. *¿CUÁNTO CARBONO ES ANUALMENTE LIBERADO Y ABSORBIDO POR LOS BOSQUES?* 52
27. *¿SE DIFERENCIAN LOS DISTINTOS ECOSISTEMAS EN SU CAPACIDAD DE ABSORBER Y ALMACENAR CARBONO?* 53
28. *¿LOS ÁRBOLES Y LOS BOSQUES ABSORBEN CARBONO DE LA SUPERFICIE TERRESTRE EN DIFERENTE PROPORCIÓN DURANTE LAS DISTINTAS FASES DE SU VIDA?* ... 55
29. *¿QUÉ ACTIVIDADES HUMANAS EN LOS BOSQUES Y EN LAS TIERRAS ARBOLADAS CONTRIBUYEN A AUMENTAR LOS NIVELES DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO?* 59
30. *¿CUÁL ES EL PORCENTAJE ACTUAL DE DEFORESTACIÓN DE LOS BOSQUES MUNDIALES?* 62
31. *¿CÓMO LA DEFORESTACIÓN AFECTA A LOS SUELOS FORESTALES?* 63
- CAPÍTULO 6 - POSIBLES EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS BOSQUES** 64
32. *¿QUÉ CAMBIOS DEBEMOS ESPERAR EN EL CRECIMIENTO Y EN LA PRODUCCIÓN DE LOS ÁRBOLES Y DE LOS BOSQUES COMO RESULTADO DEL CAMBIO CLIMÁTICO?* 64
33. *¿DEBIDO AL CAMBIO CLIMÁTICO, QUÉ CAMBIOS SE PUEDEN PREVER EN LA DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES DE ÁRBOLES Y DE LAS COMUNIDADES DE PLANTAS?* 65

34. *¿QUÉ PROBABILIDAD EXISTE DE QUE EL CAMBIO CLIMÁTICO AMENACE LA EXTINCIÓN DE ALGUNAS ESPECIES O COMUNIDADES DE PLANTAS?* 72
35. *¿CÓMO PUEDE INFLUENCIAR EL CAMBIO CLIMÁTICO LA FRECUENCIA Y LA INTENSIDAD DE LOS INCENDIOS? 74*
36. *¿CUÁLES SON LOS EFECTOS PREVISTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SALUD DE LOS BOSQUES, INCLUYENDO LA SENSIBILIDAD A LAS PLAGAS Y A LAS ENFERMEDADES O A LA DECADENCIA?* 76

CAPÍTULO 7 - AYUDANDO A LOS BOSQUES A ADAPTARSE AL CAMBIO CLIMÁTICO 83

37. *¿CÓMO PODEMOS RESPONDER AL PREVISTO CAMBIO CLIMÁTICO?* 83
38. *EXISTEN PROCESOS NATURALES QUE PUEDEN AYUDAR A LOS ÁRBOLES Y A LOS BOSQUES A ADAPTARSE A UN CLIMA CAMBIANTE?* 84
39. *¿CÓMO PUEDE LA ORDENACIÓN FORESTAL AYUDAR A LOS BOSQUES A ADAPTARSE AL CAMBIO CLIMÁTICO?* 85
40. *¿QUÉ SE PUEDE HACER PARA AYUDAR A LOS BOSQUES A ADAPTARSE AL MAYOR PELIGRO DE INCENDIOS Y/O A LAS EPIDEMIAS DE INSECTOS Y ENFERMEDADES QUE PUEDEN SER CAUSADOS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO?* 86

CAPÍTULO 8 - EL PAPEL DE LOS BOSQUES Y DE LA SILVICULTURA EN LA MITIGACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO 90

41. *¿QUÉ POSIBILIDADES OFRECEN LOS BOSQUES Y LA ORDENACIÓN FORESTAL PARA MITIGAR LOS EFECTOS DEL PREVISTO CAMBIO CLIMÁTICO?* 90

- 42. *¿CUÁLES RASGOS DEBERÍAN CARACTERIZAR LAS MEDIDAS USADAS PARA MITIGAR LOS POSIBLES EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO? 91*
- 43. *¿QUE INVESTIGACIONES ADICIONALES SON NECESARIAS PARA ENTENDER TOTALMENTE LOS EFECTOS POTENCIALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS ÁRBOLES Y EN LOS BOSQUES Y PARA DESARROLLAR TÁCTICAS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN? 92*
- 44. *¿EXISTEN ACUERDOS INTERNACIONALES QUE FOMENTEN EL DESARROLLO Y LA PROTECCIÓN DE LOS BOSQUES PARA MEJORAR SUS CAPACIDADES DE MITIGAR LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO? 94*
- 45. *¿CÓMO PUEDE ASISTIR EL PROGRAMA DE ACCIÓN FORESTAL EN LOS TRÓPICOS (PAFT) EN EL DESARROLLO DE PROGRAMAS FORESTALES PARA AYUDAR A MITIGAR LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO? 96*
- 8A - *REDUCIR LAS FUENTES DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO 97*
- 46. *¿QUÉ MEDIDAS SE PUEDEN ADOPTAR PARA REDUCIR EL RITMO ACTUAL DE LA DEFORESTACIÓN TROPICAL Y CÓMO ÉSTA AFECTA LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO? 97*
- 47. *¿QUÉ SE PUEDE HACER PARA REDUCIR LA FRECUENCIA Y LA CANTIDAD DE BOSQUES Y DE TERRENOS ÁRBOLADOS DE LAS SABANAS CONSUMIDOS POR LA QUEMA DE BIOMASA? 99*
- 48. *¿CÓMO SE PUEDEN REDUCIR LAS EMISIONES DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO AUMENTANDO LA EFICIENCIA DE LA QUEMA DE LEÑA Y DE OTROS BIOCOMBUSTIBLES? 102*

49. *¿CÓMO LA UTILIZACIÓN DE LA LEÑA Y OTROS "BIOCOMBUSTIBLES" EN LUGAR DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES PUEDE AYUDAR A REDUCIR LOS NIVELES ATMOSFÉRICOS DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO?* 104
50. *¿CÓMO UNA EXPLOTACIÓN MADERERA MÁS EFICIENTE PUEDE REDUCIR LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE LOS BOSQUES?* 106
- 8B - MANTENER LOS ACTUALES SUMIDEROS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO 110
51. *¿CÓMO PUEDEN LA ORDENACIÓN Y LA CONSERVACIÓN DE LOS BOSQUES NATURALES AUMENTAR SU CAPACIDAD DE LOS MISMOS DE FIJAR Y ALMACENAR CARBONO?* 110
52. *¿DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL ALMACENAMIENTO A LARGO PLAZO DE CARBONO, CUÁLES USOS DE LOS BOSQUES Y DE LOS PRODUCTOS FORESTALES SON MÁS DESEABLES?* 112
- 8C - AUMENTAR LOS SUMIDEROS DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO 114
53. *¿CUÁNTO CARBONO SE PUEDE FIJAR EN LA MADERA Y EN EL SUELO POR HECTÁREA EN LAS PLANTACIONES FORESTALES DE LAS ZONAS BOREALES, TEMPLADAS Y TROPICALES?* 114
54. *¿CUÁNTA ÁREA ADICIONAL DE PLANTACIONES FORESTALES SERÍA NECESARIA PARA COMPENSAR TOTALMENTE EL AUMENTO ANUAL DE LOS NIVELES DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO PROCEDENTES DE TODAS LAS FUENTES?* 115

55.	<i>¿HASTA QUÉ PUNTO LAS TIERRAS DISPONIBLES SON APROPIADAS PARA LA FORESTACIÓN Y LA REFORESTACIÓN? ¿DÓNDE ESTÁN?</i>	118
56.	<i>¿QUÉ OTRAS RESTRICCIONES EXISTEN PARA LA FORESTACIÓN DE GRANDE ESCALA?</i>	120
57.	<i>¿DE QUÉ APOYO SE DISPONE A NIVEL INTERNACIONAL PARA LA FORESTACIÓN Y LA REFORESTACIÓN? . .</i>	122
58.	<i>¿CÓMO LA AGROSILVICULTURA Y LAS PLANTACIONES DE ÁRBOLES URBANAS PUEDEN CONTRIBUIR A MITIGAR LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS?</i>	124
59.	<i>¿ES PRUDENTE UNA POLÍTICA DE PLANTACIÓN DE ÁRBOLES ÚNICAMENTE CON EL OBJETIVO DE ABSORBER CARBONO SI CONSIDERAMOS LAS DIVERSAS NECESIDADES EXISTENTES PARA LAS TIERRAS DISPONIBLES?</i>	128
60.	<i>¿CUÁLES POLÍTICAS FORESTALES SE DEBERÍAN CONSIDERAR A NIVEL NACIONAL PARA CONTRASTAR LA AMENAZA DEL CAMBIO CLIMÁTICO?</i>	129
	BIBLIOGRAFÍA	131
	ÍNDICE	142

LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

C	Carbono
CFC	Clorofluorocarbono
CH ₄	Metano
CNUMAD	Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo
CO ₂	Dióxido de carbono
ENSO	Oscilación meridional El Niño
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FTTP	Programa Bosques, Árboles y Población
FWD	Foundation for Woodstove Dissemination
GEF	Global Environmental Facility
GEI	Gas de efecto invernadero
Gt	Gigatonelada (10 ⁹ toneladas)

IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos
MCG	Modelo de Circulación General
MIP	Manejo integrado de Plagas
N₂O	Óxido nitroso
NO_x	Óxidos de nitrógeno
OMM	Organización Metereológica Mundial
ONG	Organización no gubernamental
PAFT	Programa de Acción Forestal en los Trópicos
PCT	Programa de Cooperación Técnica (FAO)
Pg	Pentagrama (10⁹ toneladas)
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
ppbv	Partes por mil millones de volumen
ppmv	Partes por millón de volumen
pptv	Partes por millones de millones de volumen
PRT	Potencial de Recalentamiento de la Tierra
tC	Tonelada de carbono
tC/ha	Tonelada de carbono por hectárea
Tg	Teragrama (10⁶ toneladas)

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 -	Potencial directo de recalentamiento de la Tierra de los gases de efecto invernadero más representativos para un período de 100 años	26
Tabla 4.1 -	Distribución estimada de los depósitos mundiales de carbono	46
Tabla 5.1 -	Superficie cubierta por bosques y otras tierras arboladas a nivel regional	51
Tabla 5.2 -	Porcentajes estimados del intercambio anual de carbono entre los bosques mundiales y la atmósfera	54
Tabla 5.3 -	Estimaciones de la media de carbono/ha almacenado sobre la superficie en distintas comunidades de vegetación	56
Tabla 5.4 -	Densidades estimadas de carbono por unidad de área forestal en la vegetación y en los suelos de los bosques mundiales	57
Tabla 8.1 -	Porcentajes de fijación de carbono para diversas especies de plantación forestal tropical	115

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1 -	Sequías históricas en California y en Patagonia	9
Cuadro 1.2 -	¿El levantamiento del altiplano tibetano produjo el enfriamiento del mundo?	15
Cuadro 2.1 -	¿Qué pasó a los niveles atmosféricos de CO ₂ en 1991?	21
Cuadro 4.1 -	Turbales, un importante sumidero de carbono .	46
Cuadro 5.1 -	El papel de las plantaciones forestales en el equilibrio carbónico de Nueva Zelandica	58
Cuadro 6.1 -	¿Los futuros bosques mundiales van a ser más secos?	70
Cuadro 6.2 -	La muerte regresiva del <i>Juniperus procera</i> en Kenia - ¿un ejemplo de los efectos del cambio climático regional?	82
Cuadro 8.1 -	Los efectos de las plantaciones forestales en el microclima de Nanjing, China	127

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1 - Historia generalizada de los cambios ocurridos en las temperaturas y en las precipitaciones durante la historia geológica. Las curvas indican desviaciones de las medias mundiales de hoy en día. Las épocas con temperaturas más frías de las actuales están sombreadas. La línea discontinua corresponde a períodos con pocos datos 6
- Figura 2.1 - Diagrama simplificado del efecto invernadero . 17
- Figura 2.2 - El análisis del aire retenido en los hielos de la Antártica muestra que las concentraciones de metano y dióxido de carbono tuvieron una fuerte relación con las temperaturas medias de los pasados 160.000 años 18
- Figura 2.3 - Cambios de los niveles atmosféricos de CO₂, durante los pasados 250 años, según los análisis de los hielos de la Antártica y las mediciones atmosféricas realizadas en Mauna Loa, Hawaii, desde 1985 . 26
- Figura 3.1 - Ejemplo de una predicción de un cambio mundial en las precipitaciones invernales (arriba) y primaverales (abajo) realizada por el MCG UKHI. Las áreas cubiertas por puntos son donde se verificarán las disminuciones 31
- Figura 3.2 - El aumento de tempestades tropicales, que pueden perjudicar muchos recursos, inclusive los bosques, son una consecuencia posible, aunque incierta, del cambio climático mundial 36
- Figura 4.1 - Representación esquemática del ciclo global del carbono, con la descripción del movimiento del carbono (en Gt) entre fuentes y sumideros . . . 46

- Figura 5.1 - Vista aérea de un incendio de matorrales en Sudán. Aproximadamente 750 millones de ha de la vegetación de la sabana se queman anualmente, causando una emisión masiva de gases de efecto invernadero 61
- Figura 6.1 - Diagramas de polen fósil realizados por los análisis de los sedimentos de lago de la Península Superior de Michigan, EE.UU. Estos datos proporcionan indicios tales como la composición de los bosques que existían en esta área en el pasado 66
- Figura 6.2 - Clasificación de las Zonas de Vida de Holdridge de tipos de vegetación actuales (superior) y bajo un escenario de temperaturas con CO₂ duplicado . 68
- Figura 6.3 - Posible redistribución del pino americano, *Pinus taeda*, en el sudeste de los Estados Unidos debido a la duplicación del CO₂ atmosférico 69
- Figura 6.4 - Ejemplos de redistribución de especies en las regiones de altas montañas debido al incremento medio anual de temperatura de 2°C: a = causando en las montañas del este de África un incremento relativamente pequeño del área vegetal, y b = causando en las tierras altas de Uganda la casi desaparición de la zona vegetal en las grandes alturas 69
- Figura 6.5 - Un bosque de *Abies fraseri* y *Picea rubens* cubre ambos lados de las cadenas montañosas más altas de los Montes Negros de Carolina del Norte, EE.UU. Este tipo de bosques podría ser incapaz de cambiar su distribución hacia mayores alturas como respuesta a un clima más caliente 73
- Figura 6.6 - Los insectos, como la oruga del pino, *Dendrolimus punctatus*, un defoliador que destruye los pinos tropicales del sudeste asiático, en climas más calientes podrían tener más ciclos reproductivos 77

- Figura 8.1 - Un ingeniero forestal en la Península Mexicana de Yucatán evalúa los productos combustibles forestales. Conocer las condiciones de los combustibles es un factor importante en la planificación de los programas de manejo de incendios 100
- Figura 8.2 - Leña transportada desde una plantación forestal a un pueblo en Indonesia. La población rural en los países en desarrollo dependen en gran parte de la leña para cocinar y para la calefacción. Una utilización más eficaz de los biocombustibles proporcionaría otra oportunidad para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero 103
- Figura 8.3 - Comparación del almacenamiento de carbono residual entre la corta convencional y a impacto reducido en Malasia 109
- Figura 8.4 - Una vietnamita recoge resina en una plantación de pinos. Los productos forestales no madereros pueden proporcionar incentivos económicos para ordenar y proteger a los bosques y, de este modo, matener su capacidad de absorber y almacenar carbono 111
- Figura 8.5 - Plantaciones de especies de rápido crecimiento, como estas plantaciones de *Pinus radiata* en Chile, pueden absorber el CO₂ atmosférico además de proporcionar una vasta gama de maderas, productos forestales no madereros y servicios 116
- Figura 8.6 - Árboles de sombra, tales como estos *neem* plantados a lo largo de las calles de Niamey, la capital de Níger, bajan las temperaturas y proporcional un ambiente más placentero 126

INTRODUCCIÓN

La probabilidad de un cambio climático mundial y de sus posibles efectos, inclusive en los bosques, es uno de los problemas medio ambientales más apasionadamente discutidos en la década de los años 90. ¿Cambiará el clima de la Tierra en el futuro? La respuesta podría ser un **sí** incondicional. A lo largo de los 3.5 mil millones de años de historia de nuestro planeta hubieron períodos alternos de clima fresco y cálido. Por consiguiente, no hay ningún motivo para suponer que el clima terrestre actual, durante el cual prácticamente se ha verificado todo el desarrollo de la humanidad, permanecerá constante.

Las preguntas más importantes y difíciles son:

1. ¿Cómo cambiará el clima de la Tierra?
2. ¿Cómo un clima cambiante afectará las capacidades de las sociedades humanas para mantener y mejorar su calidad de vida?
3. ¿Qué medidas pueden ser tomadas para adaptarse al cambio climático o para mitigar sus efectos?

Muchos científicos afirman que el período actual de temperaturas relativamente moderadas y que ha caracterizado la Tierra desde la última grande época glacial continental, comenzó a cambiar hace aproximadamente 10.000 años, lo que representa un breve intervalo de tiempo. Estos científicos pronostican, por lo tanto, que otra era glacial cubrirá, una vez más, grandes áreas de la superficie terrestre.

Sin embargo, una preocupación más inmediata para la sociedad es que hay pruebas crecientes de que algunas actividades humanas, tales como la quema de combustibles fósiles, la transformación de los bosques en terreno agrícola a un ritmo sin precedentes y otras, están causando aumentos considerables en los niveles atmosféricos de dióxido de carbono (CO_2) y de otros "gases de efecto invernadero". Estos cambios pueden llevar a un calentamiento de la temperatura global a una velocidad sin precedentes y pueden tener serias consecuencias para la agricultura, la pesca, la silvicultura y el desarrollo humano. Actualmente están siendo consideradas, en ámbito nacional, regional e internacional, estrategias para adaptarse a estos cambios y para mitigar las consecuencias de un efecto invernadero más acentuado.

Hay mucha confusión e incertidumbre asociada al problema del cambio climático. Durante la década anterior, se realizaron muchos estudios encaminados a mejorar nuestra capacidad de predecir las futuras tendencias climáticas y a descubrir cómo éstas afectarían la sociedad humana. Sin embargo, los resultados de dichos estudios son frecuentemente contradictorios y poco claros.

Los problemas relacionados con la silvicultura son particularmente complejos. Los bosques y su utilización por el hombre pueden contribuir a aumentar el nivel atmosférico de los gases de efecto invernadero. Sin embargo, aunque los bosques también sean afectados por los cambios en el clima, los árboles y los bosques, dada su capacidad para absorber CO_2 y almacenar carbono en el tejido leñoso, ofrecen posibilidades para ayudar a mitigar los futuros efectos del cambio climático.

La complejidad de los bosques, su vida relativamente larga y su relación multifacética con el cambio climático plantean muchas dudas. ¿Cómo serán afectados los bosques por el cambio climático? ¿Cómo pueden responder a ello los

ingenieros forestales? ¿Puede la ordenación forestal ayudar a mitigar los efectos del cambio climático?

Este documento tiene como objetivo proporcionar una amplia visión de conjunto acerca de cómo el problema del cambio climático está relacionado con los bosques y la ordenación forestal. También se propone indicar algunas ideas sobre cómo los ingenieros forestales pueden responder a los desafíos que plantea el posible cambio climático futuro. El material está presentado en ocho capítulos bajo forma de preguntas y respuestas. Dichos capítulos se centran en distintos aspectos del cambio climático, inclusive en la naturaleza dinámica del clima, el efecto invernadero, los pronósticos sobre el cambio climático y sus consecuencias, el ciclo global del carbono, los bosques como fuentes y sumideros de carbono, los efectos del cambio climático en los bosques, las estrategias para facilitar la adaptación de éstos al cambio climático y en la forma en que los bosques pueden mitigar sus efectos.

La información contenida en este documento se propone para el uso de los ingenieros forestales que trabajan a nivel de campo, directores de programas y asesores políticos a nivel nacional, regional e internacional.

Capítulo 1

EL CLIMA TERRESTRE - UNA ENTIDAD DINÁMICA

1. ¿CUÁL ES LA DEFINICIÓN DE TIEMPO Y CLIMA?

El **tiempo** es la condición atmosférica predominante en una área en un momento dado, resultante en calor o frío, claridad o nubosidad, sequedad o humedad, viento o bonanza.

El **clima**, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), es la "síntesis de las condiciones del tiempo en una determinada área, definidas por estadísticas a largo plazo de las variables del estado de la atmósfera". Los cambios estacionales, como la transición del invierno a la primavera, del verano al otoño en las zonas templadas y de la humedad a la sequedad en los trópicos, también hacen parte del clima.

El clima es un factor clave que determina la distribución de las plantas y de los animales y la composición del suelo mediante el desgaste de los materiales geológicos y la descomposición o la preservación de la materia orgánica.

2. ¿HASTA QUÉ PUNTO EL CLIMA TERRESTRE HA CAMBIADO DURANTE EL CURSO DE LA HISTORIA GEOLÓGICA?

Aunque el clima de la Tierra se ha mantenido suficientemente estable para permitir la vida por millones de años, el clima es **dinámico** y sujeto a **cambios**. El clima de la Tierra se ha caracterizado a lo largo de su existencia por períodos de tiempo cálido y frío, como indicado ampliamente por los restos fósiles y otros indicadores, tales como la anchura de los anillos de crecimiento de los árboles, los índices de crecimiento de organismos marinos y de algunos tipos de vegetación, y el nelen fósil encontrado (Fig. 1.1.). Por ejemplo, hace más de

230 millones de años, durante la última fase de la Era Paleozoica, los glaciares cubrían gran parte de los trópicos actuales. Sin embargo, durante gran parte de la Era Mesozoica, cuando los dinosaurios y otros reptiles dominaban la Tierra (entre 180 y 65 millones de años atrás), las temperaturas eran mucho más elevadas que las de hoy en día.

A lo largo de millones de años, cuando los glaciares continentales cubrían grandes superficies, el clima terrestre se caracterizaba por largos períodos de tiempo frío. Cada uno de estos períodos duraba de 80.000 a 100.000 años y estaban intercalados por breves períodos de tiempo caliente que oscilaban entre 10.000 y 15.000 años. En el apogeo del último período glacial, aproximadamente 18.000 años atrás, los niveles de los océanos eran 130 m más bajos que los actuales. En aquella época las Islas Bahamas contaban con una superficie de tierra considerable y la región del Sahel era un desierto. Los glaciares continentales comenzaron a retirarse hace casi 10.000 años atrás. Hace unos 6.000 años, cuando los glaciares estaban todavía retirándose, la Tierra entró en un período durante el cual las temperaturas medias eran aproximadamente las de hoy, pero con veranos ligeramente más calientes e inviernos más fríos. Las precipitaciones aumentaron en el Sahel, y el Lago Chad creció más de 40 m sobre su nivel actual. Las culturas humanas en África eran considerablemente más avanzadas que las europeas. A medida que la cubierta de hielo glacial continuaba retirándose hacia el norte, el Sahel se transformaba de nuevo en una región caracterizada por precipitaciones marginales y sus regiones septentrionales eran invadidas por el desierto del Sahara.

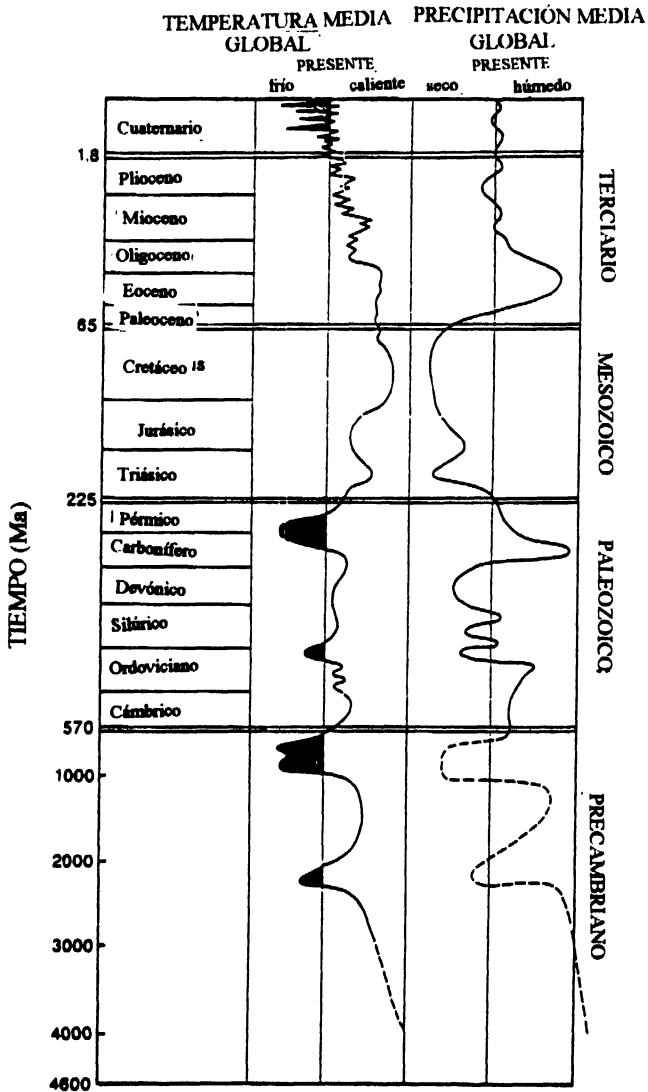


Figura 1.1 - Historia generalizada de los cambios ocurridos en las temperaturas y en las precipitaciones durante la historia geológica. Las curvas indican desviaciones de las medias mundiales de hoy en día. Las épocas con temperaturas más frías de las actuales están sombreadas. La línea discontinua corresponde a períodos con pocos datos (Fuente: Goddess et al (1992)).

Muchos científicos opinan que el período actual de temperaturas relativamente templadas, con el tiempo, dará lugar a otra era glacial (Easterling 1990, Harrington 1987).

3. ¿CUÁLES CAMBIOS SE HAN VERIFICADO EN EL CLIMA TERRESTRE DESDE EL INICIO DE LA HISTORIA HUMANA CONOCIDA?

Documentos históricos muestran que durante los últimos 1.100 años, la Tierra ha experimentado, al menos a escala regional, variaciones en su clima que han sido lo suficientemente estables persistentes para ser consideradas cambios climáticos (Easterling 1990).

Durante el período conocido en la historia europea como la Edad Media, un clima caliente, que duró aproximadamente desde el 900 d.C al 1200 d.C, dominó la mayor parte de Europa y fue conocido con el nombre de **Óptimo Medieval**. Este período permitió que los asentamientos humanos se extendieran hacia regiones que hoy en día serían consideradas climáticamente muy severas. Durante el Óptimo Medieval, se cultivaban avena y cebada en Islandia y las viñas prosperaban en el sur de Inglaterra. Los bosques canadienses se extendían hacia el norte por una distancia considerable en comparación con hasta donde llegan hoy en día, los asentamientos agrícolas prosperaban en las tierras altas de la Escocia septentrional y una colonia vikinga se estableció en Groenlandia.

El Óptimo Medieval terminó durante el siglo XIII y fue sustituido por 600 años de frío pronunciado. Dado que el frío se intensificó, este período fue conocido como la **"Pequeña edad del hielo"**. Durante esta época la superficie de nieve e hielo era más extensa que en cualquier otra época desde el Período Pleistoceno y sus extensos glaciares. Las colonias de vikingos que vivían en Groenlandia, desde el año 895 d.C al 1500, desaparecieron (McGovern 1981). Los bosques de

América del Norte retrocedieron hacia el sur y los canales de Europa septentrional se congelaban frecuentemente durante todo el invierno, interrumpiendo el transporte acuático.

Cuando la "Pequeña edad del hielo", a mediados de 1800, aflojó su tenaza sobre el clima de Europa, varios parámetros climáticos, como la temperatura y las precipitaciones, comenzaban a ser registrados¹. Dichos datos demuestran que a finales del siglo XIX un aumento de la temperatura comenzó a verificarse tanto en el hemisferio norte como en el hemisferio sur. Este aumento alcanzó un punto máximo inicial en los años 30. En los años inmediatamente siguientes, la temperatura global bajó un poco antes de continuar su tendencia ascendente. El descenso de la temperatura fue más pronunciado en el hemisferio septentrional.

Los datos del clima mundial de los últimos dos decenios indican que la temperatura del aire de la superficie terrestre ha superado los valores máximos de 1930. Esta oleada de calor se extendió en los hemisferios septentrional y meridional (Couglan y Nyenzi 1990) y ha resultado en un aumento de la temperatura media global de aproximadamente 0.45°C desde mediados del siglo pasado.

4. ¿CUÁLES FACTORES PUEDEN CAUSAR CAMBIOS EN EL CLIMA TERRESTRE?

Los cambios en la temperatura terrestre y los cambios relacionados al clima tienen causas complejas. Éstas pueden ser clasificadas en las siguientes categorías:


¹ Se disponen de datos sobre las temperaturas y precipitaciones de algunas partes de Europa desde el siglo XII. Finck (1985) hace un resumen de los veranos húmedos y secos del norte de Alemania


Cuadro 1.1 Sequías históricas en California y Patagonia.

Mientras Europa estaba asoleándose en el Óptimo Medieval, al parecer otras partes del mundo estaban atravesando grandes sequías. Según un estudio concluido últimamente, que incluye el análisis de antiguos tocones de árboles sumergidos, el área de la actual California (EE.UU.), padeció de dos prolongadas y fuertes sequías durante gran parte del Óptimo Medieval. Estas sequías estuvieron separadas por un período de humedad poco común que duró menos de un siglo. La primera de estas sequías duró más de dos siglos. La segunda se prolongó por más de 140 años. Existen pruebas que la región de la Patagonia en Sudamérica también padeció de una sequía durante dicho período.

Las sequías en California pueden haber sido el resultado de un desplazamiento hacia el norte de las tempestades de verano.

Actualmente California tiene una población de 30 millones de habitantes. Por lo tanto, una sequía de tal magnitud hoy en día tendría consecuencias devastadoras (Stine 1994).



Factores astronómicos - como los cambios en la actividad solar, variaciones en la excentricidad de la órbita terrestre alrededor del Sol, cambios en la inclinación del eje de la Tierra (oblicuidad), en la precesión del eje terrestre y colisiones con asteroides y cometas.

Factores geológicos - como los cambios en las placas continentales y en la topografía del suelo oceánico, erupciones volcánicas, formación de montañas, erosión y desgaste de las rocas por acción de los agentes atmosféricos.

Factores oceánicos - como el efecto de la corriente marina El Niño, cambios en la circulación oceánica y en el nivel del mar, formación de hielo, floración del fitoplancton y producción de dimetilsulfato.

Factores propios de la superficie terrestre - inclusive el efecto de la vegetación en el albedo de superficie (la blancura o la intensidad del reflejo de la luz desde un objeto), la evapotranspiración, los efectos de las aguas superficiales, incluyendo el riego y el polvo.

Factores atmosféricos - como el efecto de los gases de efecto invernadero, el dióxido de azufre y los agentes contaminantes del aire, los efectos de las nubes y las interacciones entre el aire, la tierra y el mar.

En los párrafos siguientes se describen algunos ejemplos sobre la influencia de estos factores en el clima mundial.

Se cree que los cambios en la actividad solar, como la frecuencia y la intensidad de las manchas solares o el calentamiento gradual del Sol a medida que su suministro de hidrógeno se consume, tienen consecuencias importantes en el clima. Por ejemplo, en el siglo XVII, la virtual cesación de la

actividad de las manchas solares por aproximadamente 70-80 años coincide con el apogeo de la Pequeña edad del hielo; un período en el que una serie de cosechas desastrosas en Europa condujo a decenios caracterizados por privaciones y desórdenes sociales. La oleada de calor, sucesiva a la Pequeña edad del hielo, coincidió con la reanudación de la actividad de las manchas solares. El período reciente, caracterizado por temperaturas más elevadas, está asociado con una actividad solar extraordinariamente fuerte, que ha comenzado a finales de los años 80 (Harrington 1987, Windelius y Tucker 1990). Sin embargo, el aumento registrado de energía solar recibida por la Tierra durante los períodos de máxima actividad de las manchas solares no parece ser suficiente para causar cambios significativos en el clima.

En ocasiones excepcionales grandes asteroides han colisionado con la Tierra. Estas colisiones pueden tener una serie de efectos catastróficos, inclusive la creación de una capa de polvo fino en la atmósfera, que reduce la cantidad de energía solar capaz de alcanzar la superficie terrestre. Esto puede causar una disminución de las temperaturas y de la intensidad de la luz. Algunos científicos opinan que la colisión de un asteroide de aproximadamente 10 Km. de diámetro con la Tierra, hace casi 65 millones de años, produjo un drástico enfriamiento que condujo al fin de la época de los dinosaurios. Aproximadamente la mitad de las plantas y de los animales que vivían en aquella época desaparecieron (Harrington 1987).

La teoría de Milankovitch explica la época glacial basándose en la variación a largo plazo de las radiaciones solares que las latitudes polares reciben durante algunas estaciones del año. Estas variaciones son causadas por cambios en la excentricidad de la órbita terrestre alrededor del Sol, que varía entre los límites de 0 a 0.06 en un período medio de 93.000 años; cambios en el ángulo de inclinación del eje terrestre, que varía entre 22.1 y 24.5° en un período medio de 41.000 años

y la precesión del eje terrestre, que varía con un período medio de 21.000 años (Weertman 1976).

A veces las erupciones de los volcanes son tan violentas que grandes cantidades de polvo y gas son proyectadas hacia la atmósfera. Las partículas que alcanzan la estratosfera pueden perdurar por varios años. Estas partículas causan una disminución de las temperaturas ya que reflejan las radiaciones solares. La Pequeña edad del hielo fue un período caracterizado por una gran actividad volcánica si la comparamos con nuestro siglo. La erupción del volcán indonesio Tambora, en 1815, la más grande de toda la historia registrada, fue seguida por un período de frío en parte de Europa, América del Norte y probablemente en otras partes del mundo, llamado "El año sin verano". Este período resultó en la pérdida de los cultivos de maíz en parte de Estados Unidos y en enormes pérdidas de cultivos en Europa occidental (Stommel y Stommel 1983). Por ejemplo, en Gante, Bélgica, el verano de 1816 fue el más frío registrado entre 1753 y 1960 (Gommes 1980). También las emisiones volcánicas de la erupción de El Chichón, en México, en 1982 y del Pinatubo en las Filipinas, en 1991, causaron un leve enfriamiento.

Los océanos juegan un papel esencial en el sistema climático global. Más de la mitad de las radiaciones solares que alcanzan la superficie terrestre son absorbidas por los océanos, donde son almacenadas y distribuidas de nuevo por las corrientes oceánicas antes de dispersarse en la atmósfera. Las corrientes oceánicas son guiadas por el intercambio del momento de calor y agua entre el océano y la atmósfera (Cubasch y Cess 1990).

Se sabe que la corriente oceánica conocida con el nombre de El Niño (palabra española para indicar al Niño Jesús) tiene una gran influencia en el clima mundial. El Niño es una corriente oceánica caliente que generalmente aparece a lo largo de la costa occidental de América del Sur alrededor de las

Navidades y dura varios meses. La Oscilación Meridional (ENSO) da origen a El Niño, que se produce a partir de una graduación entre un sistema de baja presión que se encuentra en parte de Indonesia y Malasia y un sistema de alta presión en el Pacífico del sur. Cuando la diferencia de presión existente entre estos dos sistemas disminuye, los vientos alisios del oeste se atenúan causando un calentamiento en la superficie oceánica fuera de las costas de Perú. Esto hace que el sistema de baja presión se desplace hacia el este provocando una disminución de las precipitaciones en Malasia e Indonesia y un aumento de las mismas en la costa occidental de Centro y Sud América. En 1982-83, una ENSO particularmente fuerte causó una gran sequía en la isla de Borneo, causando los incendios forestales más extensos de la historia. Aproximadamente 3.5 millones de ha de bosques tropicales primarios y secundarios en el este de Kalimantan, Indonesia, se quemaron a causa de estos incendios (Goldammer y Seibert 1990). Esta misma ENSO produjo grandes tempestades e inundaciones impresionantes a lo largo de la costa occidental de América del Sur. Se sabe que las ENSO influyen el tiempo a escala mundial. Éste es el principal factor medio ambiental a escala mundial que influye la estación de los huracanes del Atlántico. Los huracanes desaparecen cuando se verifica un incremento de la temperatura en las aguas ecuatoriales, orientales y del Pacífico central. En cambio, dicha actividad aumenta en las estaciones durante las que el agua está fría (Grey 1993). Además hay pruebas que demuestran que las ENSO tienen relación con la baja en las precipitaciones medias en el sur de África.

También los océanos poseen mecanismos químicos y biológicos importantes para el control del CO₂. El CO₂ es transferido desde la atmósfera hasta el océano debido a las diferencias de la presión parcial de CO₂ existentes entre el océano y las capas más bajas de la atmósfera. Además, los océanos contienen fitoplancton que transforma el CO₂ disuelto

en carbono que, luego, se sumerge en el mar (Cubasch y Cess 1990).

La temperatura media actual de la Tierra es de 15°C. Esto se debe en gran parte a los efectos de los gases radioactivos o a los gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera. Sin estos gases la temperatura media de la Tierra sería de -18°C, que es equivalente a la temperatura de la superficie de la Luna y la vida, como nosotros la conocemos, no sería posible. La mayor parte de las radiaciones a longitud de onda corta que la Tierra recibe del Sol pasa a través de estos gases y calienta la superficie terrestre. La superficie, a su vez, emite radiaciones térmicas de onda larga hacia la atmósfera que son absorbidas por los gases de efecto invernadero, calentando la atmósfera. La atmósfera emite radiaciones de onda larga hacia el espacio y hacia la Tierra, calentando aún más la superficie terrestre (ver pregunta 5 para una explicación más detallada).

Cuadro 1.2. ¿El levantamiento del altiplano tibetano produjo el enfriamiento del mundo?

Se piensa que el altiplano del Tíbet, que se encuentra entre el Himalaya, en el sur, y las Montañas Kulun, en el norte, haya sido el resultado de la conclusión de un movimiento continental de colisión entre India y Asia. El altiplano se extiende aproximadamente por 2.2 millones de kilómetros cuadrados, que equivalen a un 0.4% de la entera superficie terrestre. La media del levantamiento es de 5 kilómetros sobre el nivel mar. Se ha dicho que la aparición del altiplano ha creado modelos de circulación del aire que llevan agua recogida del Océano Indiano en verano y causan los monzones en el subcontinente indiano. El dióxido de carbono presente en la atmósfera se disuelve en las lluvias torrenciales, formando una débil solución de ácido carbónico que erosiona el lecho de roca del altiplano y que, a su vez, es transportado al océano como bicarbonato. Se piensa que este proceso haya removido grandes cantidades de dióxido de carbono de la atmósfera terrestre, causando un efecto de enfriamiento mundial (Patterson 1993).

Capítulo 2 EL EFECTO INVERNADERO

5. ¿QUÉ ES EL EFECTO INVERNADERO Y CÓMO INFLUENCIA AL CLIMA TERRESTRE?

El efecto invernadero es la retención de calor en la baja atmósfera debido a la absorción y a la re-radiación de las nubes y de algunos gases. La Tierra recibe su energía del Sol en la forma de radiaciones solares. Las radiaciones solares de onda corta (visibles) recibidas del Sol pasan a través de la atmósfera con poca o ninguna interferencia y calientan la superficie terrestre. Las radiaciones térmicas de onda larga, emitidas por la superficie terrestre calentada, son absorbidas en parte por restos de elementos o por gases "de efecto invernadero". Estos gases se encuentran en la atmósfera en pequeñas cantidades y reflejan hacia todas las direcciones las radiaciones térmicas de onda larga. Algunas de estas radiaciones se dirigen hacia la superficie terrestre (Fig. 2.1.).

La cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera pueden influenciar las temperaturas mundiales. Si estos gases aumentaran, las temperaturas podrían subir, en cambio, si disminuyeran las temperaturas bajarían.

El efecto invernadero es un fenómeno bien conocido que se basa en comprobados principios científicos. Por ejemplo, la temperatura media de la superficie terrestre es aproximadamente 33°C más caliente de lo que sería sin la presencia de estos gases. Las observaciones de los satélites de las radiaciones emitidas por la superficie terrestre y a través de la atmósfera, confirman los efectos de los gases de efecto invernadero. La composición de las atmósferas de Venus, de la Tierra y de Marte son bastante diferentes, pero las temperaturas de sus superficies responden a los principios indicados de los gases de efecto invernadero. Por último, las

mediciones realizadas en núcleos de hielos de hace 160.000 años atrás muestran que la temperatura de la Tierra tenía casi la misma cantidad de dióxido de carbono y metano, dos de los gases de efecto invernadero más importantes presentes en la atmósfera (Fig. 2.2.). Los cambios en la cantidades de estos gases pueden ser una, pero no todas, de las razones de las grandes diferencias de las temperaturas mundiales (5-7°C) entre las épocas glaciales y los períodos interglaciales (Houghton 1991). Estudios recientes indican que las temperaturas y los gases de efecto invernadero están tan estrechamente relacionados que es difícil determinar cuál es la causa y cuál el efecto.

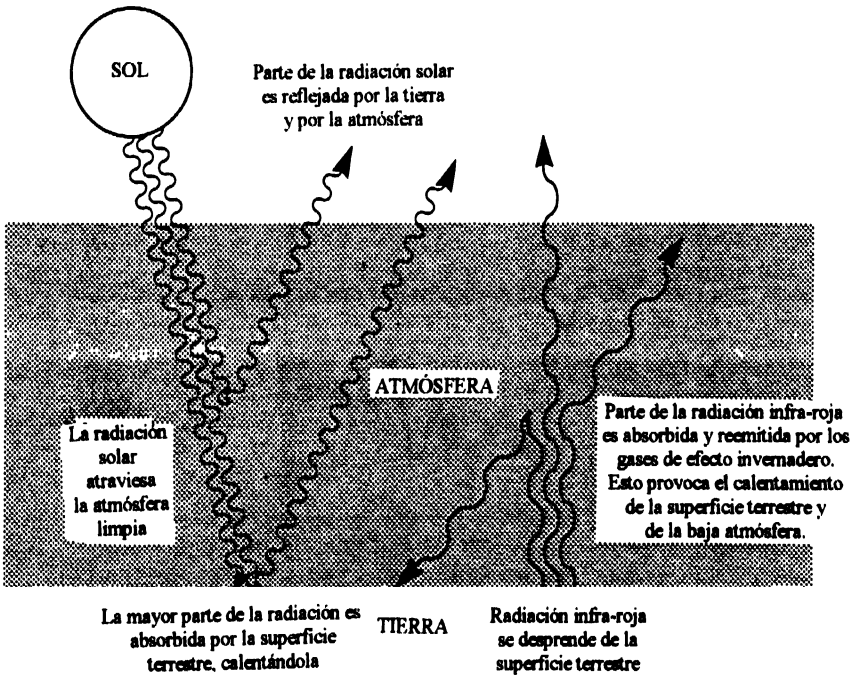


Figura 2.1 - Diagrama simplificado del efecto invernadero (Fuente: Houghton 1991).

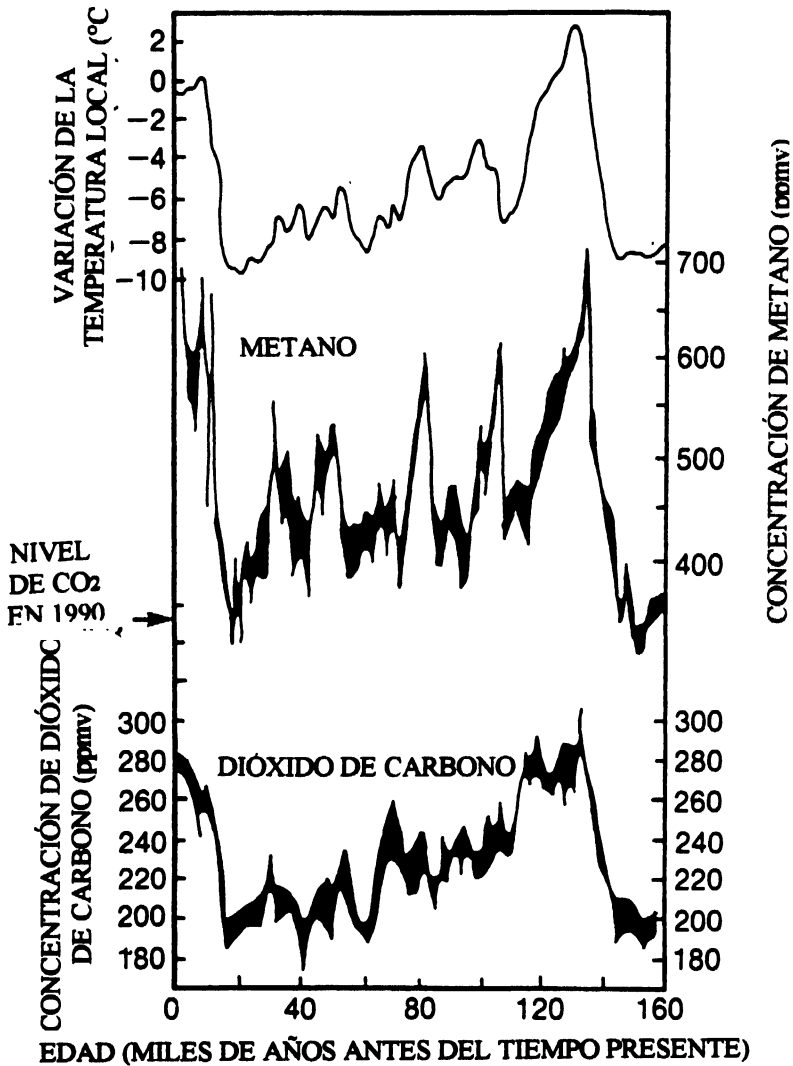


Figura 2.2 - El análisis del aire retenido en los hielos de la Antártica muestra que las concentraciones de metano y dióxido de carbono tuvieron una fuerte relación con las temperaturas medias de los pasados 160.000 años (Watson et al. 1990).

6. ¿CUÁLES GASES CAUSAN EL EFECTO INVERNADERO Y CUÁLES SON LAS FUENTES DE ESTOS GASES?

Los gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera terrestre incluyen: **vapor de agua** (H_2O), **dióxido de carbono** (CO_2), **metano** (CH_4), **óxido nitroso** (N_2O), **óxidos de nitrógeno** (NO_x), **ozono** (O_3), **monóxido de carbono** (CO) y los **clorofluorocarbonos** (CFC). La concentración de estos gases en la atmósfera terrestre ha cambiado a lo largo de las escalas de tiempo geológicas. Desde el último período glacial el nivel de estos gases se ha mantenido relativamente constante. A medida que la agricultura y la ganadería se desarrollaban, la población mundial y la industrialización de la sociedad aumentaban, el nivel de algunos estos gases aumentaba considerablemente (Houghton 1991). A continuación siguen las descripciones de los gases de efecto invernadero más importantes y de sus fuentes.

VAPOR DE AGUA (H_2O) - El vapor de agua es el más abundante de estos gases y es el que tiene el mayor efecto invernadero. La cantidad de vapor de agua es sólo levemente afectada por las actividades humanas, tales como el riego y el establecimiento de reservorios de agua. La cantidad de vapor de agua aumentará si la atmósfera se calienta y mayores cantidades de vapor de agua pueden acentuar el efecto invernadero.

DIÓXIDO DE CARBONO (CO_2) - El dióxido de carbono es el más importante de los gases de efecto invernadero que las actividades del hombre influencia, tanto en términos de la cantidad presente en la atmósfera como por sus potenciales efectos en el calentamiento global. Este gas es un producto de la respiración de los animales y de las plantas, de la quema de combustible fósil y de la quema o descomposición de las plantas y de los árboles. Las fábricas de cemento son otra fuente importante de CO_2 (IPCC 1992).

Desde el inicio de la Revolución Industrial, a mediados del siglo XVIII, la quema de combustibles fósiles ha aumentado. A esto hay que añadir la vasta deforestación y la quema de desechos que junto a otras actividades humanas han causado un aumento del 25% de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, de 290 ppmv (partes por millón) a los 355 ppmv de hoy en día. Gran parte de este aumento se ha verificado a partir de 1940 (Hair y Sampson 1992). Sin embargo últimamente se ha detectado una disminución en el porcentaje de aumento de CO₂ (Sarimento 1993, ver cuadro 2.1.).

METANO (CH₄) - La fuente más importante de metano es la descomposición anaerobia (la descomposición de microorganismos sin la presencia de oxígeno libre en el aire). Ésta se verifica en los arrozales y en los pantanos naturales. También producen metano el ganado y otros rumiantes, junto a aquella parte de la fauna cuyo sistema digestivo se basa en la fermentación entérica. Otra fuente de metano son las termitas, presentes en gran cantidad en los bosques tropicales (Zimmerman et al. 1982). Otras fuentes incluyen la quema de biomasa y la descomposición de los terraplenados y de los pantanos. Los incendios forestales producen una unidad de metano por cada 100 unidades de dióxido de carbono. El nivel de metano en la atmósfera ha aumentado del 0.8 ppmv en 1850 al 1.7 ppmv actual. Desde 1970, debido a razones desconocidas, el índice de aumento de CH₄ en la atmósfera terrestre ha disminuido de casi 20 ppbv/año a 10 ppbv/año (IPCC 1992).

ÓXIDO NITROSO (N₂O) - Este gas es producido como resultado de la deforestación y de la quema asociada, quema de la biomasa, intensificación de los procesos intermitentes de nitrificación y denitrificación de suelos en las áreas húmedas, utilización de fertilizantes nitrogenados y quema de combustibles fósiles.

Cuadro 2.1. ¿Qué pasó a los niveles atmosféricos de CO₂ en 1991?

Según los datos del Observatorio de Mauna Loa en Hawai, EE.UU., una tendencia de aumento constante en los niveles atmosféricos de CO₂ que duraba desde hace 35 años fue interrumpida a mediados de 1991 cuando los niveles de CO₂ se hallaban aproximadamente en 335 ppmv. A finales de 1993 fue detectada una reducción de 1.5 partes por millón (ppmv) del CO₂ presente en la atmósfera. Si ésto fuera aplicable a todo el hemisferio septentrional, equivaldría a una pérdida de 1.6 Gt (1.6 x 10⁹ toneladas) de carbono. Esta disminución del porcentaje de concentración de CO₂ comenzó inmediatamente después de la erupción del volcán filipino, Mt. Pinatubo, en 1991 y ocurrió a pesar del hecho que una ENSO se haya verificado en 1991-92. Generalmente las ENSO provocan un aumento temporáneo del CO₂ presente en la atmósfera. No se conoce la causa de dicho fenómeno. Algunos científicos creen que ello se debe a un factor natural que compromete los océanos o la biosfera terrestre. Una posibilidad es que la caída de las cenizas de la erupción del Mt. Pinatubo, que contenían porcentajes de óxido de hierro, causó una fertilización de hierro de los océanos que temporáneamente aumentó su capacidad de absorber CO₂ (Sarimento 1993). Si la causa principal fue la erupción del Pinatubo, dicha disminución durará poco.

Hoy en día se sabe relativamente poco acerca de los porcentajes de emisión de este gas procedente de los suelos que se encuentran en ecosistemas naturales y alterados y de la quema de biomasa. El nivel actual de N_2O presente en la atmósfera es de aproximadamente 0.3 ppmv y está aumentando a una velocidad que va de 0.2 a un 0.3% al año.

MONÓXIDO DE CARBONO (CO) - El monóxido de carbono no es verdaderamente un gas de efecto invernadero, no obstante influencia la capacidad oxidante de la atmósfera terrestre y, por consiguiente, contribuye a mayores concentraciones de metano y de óxidos nitrosos. La quema de los pastizales de la sabana, como técnica de manejo de la ganadería y del pastoreo, puede ser su fuente más grande porque libera grandes cantidades de CO como resultado de combustiones incompletas y lentas, en vez de quemas rápidas.

ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO_x), DIÓXIDO DE AZUFRE (SO_2), OZONO (O_3), Y CLOROFLUOROCARBONOS (CFC-11 Y CFC-12) - Estos gases de efecto invernadero son el resultado de procesos industriales no bióticos, como la quema de combustibles fósiles, de la industria química y de ciertos electrodomésticos. La silvicultura y los sistemas de explotación del suelo no son fuentes de estos gases.

El ozono es un gas presente en toda la atmósfera, a pesar de que gran parte se encuentra en la estratosfera donde actúa como una capa protectora e impide que los dañinos rayos ultravioleta (UV) alcancen la superficie terrestre. En la baja atmósfera (troposfera) el O_3 se forma como resultado de los relámpagos o como componente del "smog" fotoquímico. La exposición a altos niveles de ozono troposférico puede causar daños a las plantas y ser perjudicial para la salud humana. Se sabe que algunas variedades de frijoles y de tabaco son sensibles a los altos niveles de O_3 . Muchas especies de árboles pueden ser dañadas a causa de una exposición a niveles elevados de este gas (Jacobson y Hill 1970).

Los CFC, que antes eran utilizados como propelentes en los aerosoles y que siguen siendo usados en los sistemas de acondicionamiento, favorecen la destrucción del O₃ estratosférico y contribuyen a su agotamiento. Se piensa que esto cause la aparición estacional de los agujeros de ozono sobre las regiones polares.

7. ¿CUÁL ES LA IMPORTANCIA DE LAS FUENTES HUMANAS DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO?

Las actividades humanas están causando aumentos de las emisiones de algunos gases de efecto invernadero en la atmósfera. Las principales fuentes de emisión de estos gases son la quema de combustibles fósiles, deforestación (y quema asociada) para aumentar la cantidad de tierra disponible para la agricultura y el pastoreo y la quema de madera y de carbón vegetal. Aproximadamente 7 Gt de CO₂ fueron desprendidas en la atmósfera anualmente durante los años 80 por fuentes humanas (ver pregunta 23). Casi 75-80% de este incremento es de origen industrial. Gran parte de lo restante se debe a la deforestación y a las prácticas de explotación del suelo (Watson et al. 1990). Otras fuentes de estos gases de efecto invernadero se deben a la producción de los arrozales y de la ganadería. Estas últimas actividades son fuentes de metano.

Por más de un siglo los científicos han advertido que estas mayores emisiones pueden afectar el equilibrio radioactivo de la atmósfera, **produciendo un aumento considerable y duradero en la temperatura terrestre** (Plass 1959, Hepting 1963).

8. ¿TIENEN TODOS LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO EL MISMO EFECTO DE CALENTAMIENTO?

No; los gases de efecto invernadero se diferencian sea por lo que se refiere al tiempo en que permanecen en la atmósfera antes de que se descompongan (tiempo de permanencia), como por su efecto radioactivo o de calentamiento relativo al dióxido de carbono. Los científicos han identificado el dióxido de carbono como el punto de referencia de los gases de efecto invernadero, mediante el cual se miden las propiedades de todos los otros gases de efecto invernadero. Para poder comparar estos gases se desarrolló el concepto del Potencial de Recalentamiento de la Tierra (PRT) como método para establecer las diferencias de los tiempos de permanencia en la atmósfera y de los efectos radioactivos de los gases de efecto invernadero (Tabla 2.1). Por ejemplo, el metano es un gas de vida relativamente corta, por consiguiente las emisiones de este gas tendrán su impacto mayor en el cambio climático durante las primeras décadas que siguen su emisión. En cambio, los óxidos nitrosos y los clorofluorocarbonos, contribuyen al efecto invernadero por centenares de años porque son más estables y se descomponen muy lentamente en la atmósfera (IPCC 1992, 1994).

9. ¿QUÉ PRUEBAS EXISTEN QUE DEMUESTREN QUE LOS NIVELES ATMOSFÉRICOS DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO ESTÁN AUMENTANDO?

Hay evidencias irrefutables de que los niveles de muchos gases atmosféricos de efecto invernadero han aumentado en los últimos 150 años.

En 1958, en las estaciones de Mauna Loa, Hawai y la Antártica, comenzaron los primeros programas continuos para el control del dióxido de carbono. Los datos obtenidos en

estos controles muestran claramente un incremento anual en la concentración media anual de CO₂. En 1990, el valor medio global era de 355 ppmv, lo que significa un incremento del 25% sobre el valor existente en 1850 que era de 280-290 ppmv (Fig. 2.3) (Houghton 1991, Siegenthaler y Sanhuezza 1991).

La concentración de metano en la atmósfera es actualmente 1.7 ppmv, más del doble del valor existente en 1850. Los análisis de las placas centrales de los hielos demuestran que los niveles de este gas han permanecido bastante constantes a lo largo de los 2.000 años que precedieron la industrialización. Durante las eras glaciales la concentración de metano en la atmósfera era la mitad de la actual. Hoy la concentración de este gas es más alta que la de cualquier otro período en los pasados 150.000 años.

Durante los años 80 los índices de aumento de metano disminuyeron, bajando de 16 ppbv/año, en 1980, a casi 10 ppbv/año en 1990. La concentración de metano disminuyó significativamente en 1991 y 1992, pero hay señales que indican que en 1993 ha aumentado de nuevo (IPPC 1994).

La concentración actual de los óxidos nitrosos es de aproximadamente 0.31 ppmv (partes por millón), es decir 8% más alta que la del período preindustrial. Los CFC son de origen exclusivamente humana y son nuevos componentes de la atmósfera terrestre. Han sido estudiados detenidamente no sólo porque causan el efecto invernadero, sino porque están eliminando el ozono estratosférico. En 1990 la concentración de los dos CFC más importantes, CFC-11 y CFC-12, era de 0.28 ppmv y 0.48 ppmv respectivamente (Houghton 1990).

TABLA 2.1

POTENCIAL DIRECTO DE RECALENTAMIENTO DE LA TIERRA DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO MÁS REPRESENTATIVOS PARA UN PERÍODO DE 100 AÑOS

(Fuente: IPCC 1992, 1994)

GEI	Potencial de Recalentamiento de la Tierra Relativo al Dióxido de Carbono
CO ₂	1
CH ₄	11
N ₂ O	320
CFC-11	4000
CFC-12	8500
HFC-22	1700
HFC-134a	1300

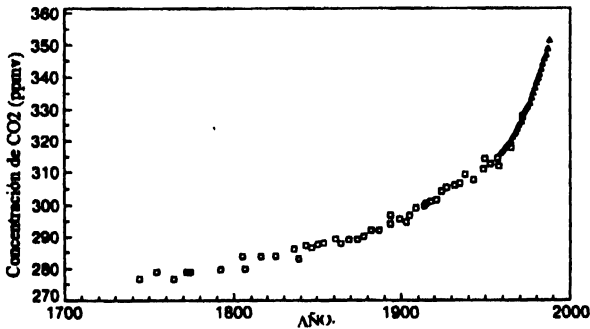


Figura 2.3 - Cambios de los niveles atmosféricos de CO₂, durante los pasados 250 años, según los análisis de los hielos de la Antártica y las mediciones atmosféricas realizadas en Mauna Loa, Hawai, desde 1985. (Fuente: Siegenthaler y Sanhuezza 1991).

10. ¿CUÁLES SON LOS PAÍSES QUE HOY CONTRIBUYEN MÁS A AUMENTAR LOS NIVELES DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO?

Los diez principales países contribuidores son: EE.UU., la ex URSS, Brasil, China, India, Japón, Alemania, Reino Unido, Indonesia y Francia. Muchos de estos países tienen un gran sector industrial y de servicios y queman grandes cantidades de combustibles fósiles (Watson et al. 1990). Los países en desarrollo (incluso China y la ex URSS) fueron responsables del 36% de la energía global relativa a las emisiones de carbono en 1990, lo que equivale a un aumento comparado al 28% del estimado en 1970 (Informe sobre el Cambio Medio Ambiental Mundial 1994).

11. ¿CÓMO LOS AEROSOLES PUEDEN CONTRARRESTAR LOS EFECTOS DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO?

Los aerosoles están compuestos de polvo y de minúsculas partículas que se liberan en la atmósfera terrestre. Muchos aerosoles actúan como núcleos indispensables para la condensación de las gotitas de agua que forman las nubes. Sin los núcleos de condensación, las nubes no podrían formarse y, por lo tanto, no podrían haber precipitaciones.

Hay muchas fuentes naturales y humanas de aerosoles. El polvo de las erupciones de los volcanes o las tempestades de arena del desierto son dos ejemplos de fuentes naturales. El hollín negro producido por los incendios forestales, de la sabana y de los pastizales pueden ser una fuente natural o humana, dependiendo de la causa del incendio. La fuente humana más importante de aerosoles es la emisión de sulfatos de parte de las plantas productoras de energía, que pueden producir la lluvia ácida (IPCC 1994).

Los aerosoles pueden neutralizar el efecto del aumento de la temperatura provocado por los elevados niveles de los gases de efecto invernadero. Ayudan a enfriar la atmósfera de dos maneras. El efecto principal es dispersar la luz del sol, disminuyendo la cantidad de luz que alcanza la superficie terrestre. Un aumento de los niveles de aerosoles pueden alterar la densidad y, por consiguiente, la capacidad de reflejo de las nubes, causando un enfriamiento de la temperatura. Hay datos procedentes de Australia, Estados Unidos y de los países de la ex URSS que indican que la cantidad de nubes que cubren dichas regiones ha aumentado. Por este motivo, algunos climatólogos pronostican que algunas partes del mundo podrán efectivamente experimentar un enfriamiento de la temperatura en el futuro (Pearce 1994).

Capítulo 3

**CAMBIOS PRONOSTICADOS EN EL CLIMA TERRESTRE Y
EFECTOS ESPERADOS**

12. ¿CUÁLES SON, EN GENERAL, LOS EFECTOS PRONOSTICADOS DEBIDO A LOS MAYORES NIVELES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO?

Los aumentos en los niveles atmosféricos de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero pueden tener consecuencias muy vastas. Éstas incluyen aumentos en las temperaturas medias, cambios en las precipitaciones, en el número de días sin heladas y en la frecuencia e intensidad de las tempestades (ver pregunta 15). Existe también la probabilidad de que los niveles oceánicos aumenten (ver pregunta 17).

Las plantas verdes utilizan CO₂ durante la fotosíntesis. Por lo tanto, mayores niveles de gases de efecto invernadero potencialmente pueden tener efectos importantes en el crecimiento y en la supervivencia de estas plantas, incluso de los árboles (ver pregunta 18). Además, los cambios en el clima podrían tener consecuencias en la distribución de los animales y plantas (ver pregunta 33 y 34) y en los procesos implicados en la formación del suelo (ver pregunta 19). Estos efectos podrían tener en el futuro serias consecuencias en la agricultura, en la pesca y en la silvicultura.

13. ¿CÓMO SE PRONOSTICAN LOS CAMBIOS EN EL CLIMA TERRESTRE?

El **modelo de circulación general** o **MCG** es el instrumento mejor desarrollado para pronosticar los cambios en el futuro clima terrestre. Hoy en día se utilizan al menos 12 MCG diferentes. Estos modelos están basados en leyes físicas y

utilizan descripciones de procesos naturales como la formación de las nubes y los cambios que se verifican en las profundidades de los océanos. En los más recientes MCG, el mismo componente atmosférico utilizado para la predicción del tiempo se utiliza en el modelo de análisis del comportamiento de los océanos. Algunos de los MCG más usados son:

GISS -	Goddard Institute of Space Sciences
NCAR -	National Center for Atmospheric Research
UKLO, UKHI-	UK Metereological Office
GFLO, GFHI -	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
CCC -	Canadian Climate Centre

Ante todo, para predecir el clima futuro, el modelo se basa en un período de algunas décadas que se simula sin cambios en los actuales niveles atmosféricos de gases de efecto invernadero. El resultado estadístico que se obtiene corresponde a la descripción del clima pronosticado por el modelo, que si es un buen modelo, presentará una fuerte semejanza con las condiciones climáticas actuales. A continuación se repite este ejercicio con una nueva serie de condiciones atmosféricas (por ej. equivalentes a los niveles duplicados de CO₂, ver pregunta 8, Tabla 2.1). Las diferencias entre los resultados de las dos simulaciones (por ej. temperatura media y variabilidad inter-anual) proporcionan una previsión del cambio climático (Fig.3.1). El cambio a largo plazo en la temperatura de la superficie terrestre, siguiente a la duplicación de los niveles de dióxido de carbono, se utiliza

(c) DJF 2 X CO2 - 1 X CO2 PRECIPITACIÓN: UKHI



(f) JJA 2 X CO2 - 1 X CO2 PRECIPITACIÓN: UKHI

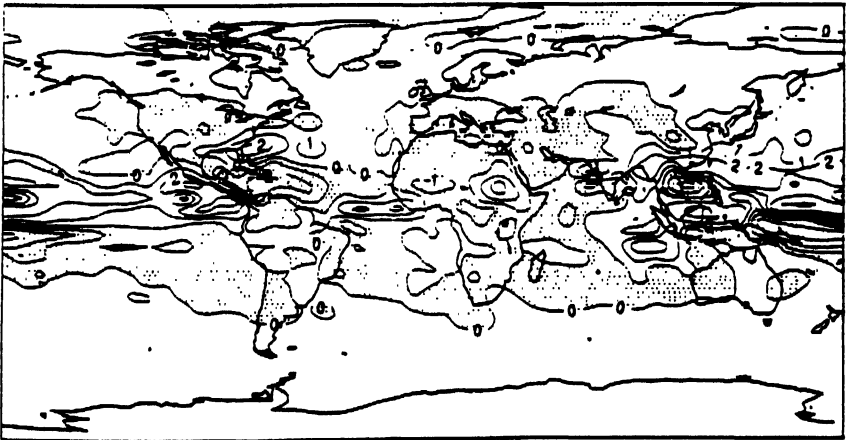


Figura 3.1 - Ejemplo de una predicción de un cambio mundial en las precipitaciones invernales (arriba) y primaverales (abajo) realizada por el MCG UKHI. Las áreas cubiertas por puntos corresponden a las zonas donde se verificarán las disminuciones.

como parámetro para comparar predicciones realizadas por diferentes MCG. Los resultados son distintos entre los modelos que utilizan como punto de partida los valores inmediatos duplicados de CO_2 , y los modelos transitorios que utilizan incrementos más graduales en las concentraciones de CO_2 .

Otro enfoque para predecir el futuro cambio climático es buscar períodos en el pasado de la Tierra cuando las temperaturas medias globales eran similares a las actuales o a las pronosticadas para el futuro. Para obtener una buena predicción es necesario que factores como los niveles de gases de efecto invernadero, las variaciones orbitales y otras condiciones, como las superficies cubiertas de hielo y la topografía, sean similares. Todavía no se han encontrado períodos en la historia terrestre con niveles de gases de efecto invernadero similares a los actuales o a los previstos para los próximos 100-200 años (Houghton 1991).

14. ¿CUÁNTO CONFIABLES SON LAS PREVISIONES ACTUALES DE CAMBIO CLIMÁTICO?

Las previsiones sobre el cambio climático no son seguras dado que nuestro conocimiento es incompleto por lo que concierne a los futuros índices de emisiones, a la respuesta climática a estos cambios y a la debilidad inherente de los modelos usados para predecir dicho cambio.

Los futuros cambios climáticos dependerán, entre otros factores, de la proporción en que son emitidos los gases de efecto invernadero (ver pregunta 9). Ésto a su vez dependerá de un número de factores socioeconómicos relacionados entre sí. Además, debido a nuestro incompleto nivel de conocimiento sobre las fuentes y los sumideros de los gases de efecto invernadero, hay incertidumbres en los cálculos de las futuras concentraciones de gases producto de cualquier escenario de emisiones considerado en un MCG. Dado que las mismas

fuentes y sumideros naturales de gases de efecto invernadero son sensibles al clima cambiante, éstas podrían modificar considerablemente las futuras concentraciones de dichos gases. Por ejemplo, si la temperatura de las tierras pantanosas aumentara, las emisiones de metano podrían ser mayores. En cambio, si éstas se volvieran más secas se absorbería más cantidad de metano. Asimismo, existen importantes procesos en los océanos que pueden afectar las concentraciones de los gases de efecto invernadero (ver pregunta 4).

La validez de los modelos utilizados para predecir el cambio climático equivalen a nuestra comprensión de los procesos que afectan al clima, que actualmente está muy lejos de la perfección. De hecho, la variabilidad de las predicciones climáticas de los distintos MCG reflejan las imperfecciones de dichos modelos. La mayor incertidumbre está relacionada con la comprensión de los factores que determinan la abundancia y la distribución de las nubes y la interacción de las nubes con las radiaciones solares. Otras dudas surgen de la transferencia de energía entre la atmósfera y los océanos, entre la atmósfera y la superficie terrestre y entre los distintos niveles de los océanos (Maunder 1990).

Otro hecho que hay que tener presente es que los actuales MCG describen el clima basándose en una situación de equilibrio (por ej. la situación que deriva de la duplicación de la concentración de CO₂ en la atmósfera), no nos indican cómo se alcanzará este equilibrio o cuánto tiempo será necesario para alcanzarlo.

15. ¿CUÁLES CAMBIOS CLIMÁTICOS SE PREVÉN SI SE DUPLICAN LOS NIVELES DE CO₂ QUE CARACTERIZABAN EL PERÍODO PREINDUSTRIAL?

En base a los datos de distintos MCG, las temperaturas y las precipitaciones aumentarán, el clima podría volverse más

variable y los temporales tropicales podrían verificarse con mayor frecuencia. Estos cambios se describen más detalladamente en los párrafos siguientes.

TEMPERATURA - Los MCG prevén un incremento de la temperatura de 1.5°C a 4.5°C si se duplican los niveles de CO₂ que caracterizaban los mediados del siglo XIX. Se supone que este aumento se verificará en una proporción de 0.3°C (\pm 0.2-0.5°) por década durante el próximo siglo y puede resultar, en el año 2025, en un aumento de la temperatura de 1°C más de los niveles actuales y de 2°C más antes del fin del próximo siglo (Houghton 1991). **Según algunos científicos, la velocidad de dicho cambio no tiene precedentes en la historia geológica.**

PRECIPITACIONES - El incremento de la temperatura de la superficie terrestre aumentará la evaporación y las precipitaciones medias mundiales. Sin embargo, algunas regiones podrían ver reducidas sus lluvias. Se prevé que las regiones de las latitudes altas experimentarán un movimiento creciente de aire húmedo cálido hacia los polos, provocando un aumento de las precipitaciones anuales y de la escorrentía de los ríos. Los MCG actuales proporcionan cálculos bastante diferentes sobre los nuevos modelos geográficos de la relación precipitación/evaporación.

VARIABILIDAD CLIMÁTICA - Los cambios en la variabilidad del tiempo y la frecuencia de fenómenos climáticos extremos tendrán, en general, un mayor impacto que los cambios en las condiciones medias. Sin embargo, con la posible excepción de un aumento en la cantidad de lluvias intensas, no hay pruebas claras que demuestren que la variabilidad climática cambiará en el futuro. Suponiendo que no se verifique ningún cambio en la distribución de la temperatura, pero sólo un modesto aumento en la temperatura media, el número de los días con temperaturas muy altas podrá aumentar considerablemente. Podría incluso verificarse una disminución de los días con

temperaturas muy bajas. Por lo tanto, el número de días muy calientes o muy fríos podría cambiar significativamente sin que haya cambios en la variabilidad del tiempo.

El número de días con la cantidad mínima de humedad requerida por el suelo para ciertos cultivos puede ser afectado por cambios en las precipitaciones medias (Houghton 1991).

TEMPESTADES - Las tempestades tropicales, como los tifones y los huracanes, ocurren cuando la superficie oceánica supera los 26°C. Por lo tanto, temperaturas más elevadas de la superficie oceánica pueden causar un aumento de las tempestades tropicales con sus consecuentes daños, incluso a los recursos forestales (Fig. 3.2). Aunque existen sistemas para pronosticar con anticipación las tempestades (Gray 1993), los MCG de que disponemos hoy no son capaces de hacer tales predicciones. Por consiguiente, existen muchas incertidumbres con respecto a los efectos del cambio climático en las tempestades.

16. ¿EL CLIMA DE ALGUNAS REGIONES CAMBIARÁ MÁS QUE EL DE OTRAS?

Sí; en general los MCG concuerdan en que puede verificarse una fuerte respuesta climática latitudinal causada por un aumento del efecto invernadero. El calentamiento podría ser mucho más acentuado en las altas latitudes y mucho menos hacia el ecuador. Es probable que los aumentos de temperatura más extremos ocurran en invierno en las altas latitudes del hemisferio septentrional, donde los cambios podrán ser 2 ½ veces mayores que los de la media mundial. En cambio, los trópicos experimentarán la menor cantidad de cambios.



Figura 3.2 - El aumento de tempestades tropicales, que pueden perjudicar muchos recursos, inclusive los bosques, son una consecuencia posible, aunque incierta, del cambio climático mundial.

Las predicciones acerca de los cambios climáticos regionales son menos claras. Un estudio, que compara los pronósticos de distintos MCG, indica que se verificará una mayor evaporación que conducirá a un aumento de la sequedad en el verano de las regiones internas continentales de media latitud. Muchas de estas regiones tienen una gran importancia agrícola (Easterling 1990).

17. ¿QUÉ CAMBIOS SE PREVEN EN EL NIVEL DE LOS OCEANOS DEBIDO AL CAMBIO CLIMÁTICO?

Se ha pronosticado un aumento global del nivel del mar. Esta predicción se basa en la suposición de que los actuales índices de aumento de los niveles de los gases de efecto invernadero continuarán como previsto. Se espera para el año 2100 un

alza de 60 cm en el nivel de los océanos, debido en gran parte a la expansión térmica de la superficie de las aguas oceánicas. Esto tendría graves consecuencias en las pequeñas naciones isleñas, en los países con grandes extensiones de llanuras costeras y donde grandes centros poblados se concentran en las regiones costeras.

No se prevé que el aumento del nivel oceánico sea uniforme en todo globo. La expansión térmica, los cambios en la circulación oceánica y la presión del aire en la superficie variará de región a región, a medida que el clima vaya cambiando. Aún no se conoce la magnitud de estos cambios.

Los efectos más graves del aumento del nivel del mar probablemente serán causados por acontecimientos climáticos extremos, como la aparición de tormentas cuya frecuencia también puede ser afectada por un clima cambiante (Houghton 1991). De todas maneras, ésta es una de las predicciones menos seguras de los efectos del cambio climático global.

18. ¿CÓMO SERÁN AFECTADAS LAS PLANTAS, INCLUYENDO LOS ÁRBOLES, POR LOS CAMBIOS EN LOS NIVELES ATMOSFÉRICOS DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO Y POR LOS CAMBIOS RESULTANTES EN LAS TEMPERATURAS Y PRECIPITACIONES?

Los cambios en los niveles de los gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre y los cambios climáticos previstos pueden tener efectos tanto **positivos** como **negativos** en las plantas.

Uno de los posibles efectos positivos derivantes de los mayores niveles atmosféricos de CO₂ es conocido como "el efecto fertilizante del CO₂". Se sabe que el CO₂ es un factor que limita el crecimiento de las plantas. Un aumento del CO₂

atmosférico permite una mayor fotosíntesis en las plantas, lo que produce, al menos temporáneamente, un mayor índice de crecimiento de éstas y de absorción del carbono atmosférico por las plantas, siempre que los otros requisitos para su crecimiento sean satisfechos. Los experimentos en laboratorio y en el campo indican un aumento de la fotosíntesis de un 30% en las plantas que usan el proceso C_3 de fotosíntesis, con un aumento de la relación raíz/renuevo, lo que implica un mayor almacenamiento subterráneo de carbono². En las plantas que utilizan el proceso C_4 se prevé un aumento de un 10% en el índice de fotosíntesis. Es probable que el aumento gradual del CO_2 atmosférico durante el siglo pasado haya contribuido, en parte, a la casi duplicación de la producción agrícola mundial, resultado sobre todo del mejoramiento de las prácticas agrícolas y del perfeccionamiento genético de los materiales vegetales, que ocurrieron en el mismo período. Los análisis de las investigaciones indican que el efecto fertilizante sería más eficaz en los niveles más bajos de crecimiento de CO_2 .

El hecho que las plantas contraigan las aberturas de sus estomas con altos niveles de CO_2 atmosférico tiene relación con el efecto fertilizante. Esto produce una menor pérdida de vapor de agua y un aumento en la eficiencia de las plantas en la utilización del agua, así como significa que puede ser posible

² La mayoría de las plantas asimilan carbono mediante dos tipos de fotosíntesis que generalmente son denominados procesos C_3 y C_4 . En la primera fase de absorción de CO_2 , las plantas C_3 producen una molécula con tres átomos de carbono y las plantas C_4 producen una molécula con cuatro átomos de carbono. La molécula C_4 permite a la planta asimilar CO_2 más eficazmente. Las plantas C_3 dependen sólo de la difusión de CO_2 a través de sus tejidos y, por lo tanto, benefician más que las plantas C_4 de las concentraciones de CO_2 elevadas. Las plantas que utilizan el proceso C_3 representan el 85% de todas las especies de plantas e incluyen todos los árboles y las plantas madereras. Las plantas con proceso C_4 son las tropicales y los pastos de zonas templadas que crecen en regiones con precipitaciones abundantes en las estaciones calientes. Son plantas C_4 la caña de azúcar, maíz, sorgo y mijo.

lograr un mayor crecimiento de las plantas en aquellas regiones del mundo con pocas precipitaciones. Un estudio sobre los posibles efectos de una mayor eficiencia en el aprovechamiento del agua por las plantas, combinado con el efecto fertilizante del CO₂, indica que el área de bosque tropical húmedo podría aumentar de un 75% con la duplicación del CO₂ atmosférico y la superficie desértica podría disminuir de un 60% (Sombroek 1991).

Una temperatura mundial más elevada comportaría un grado de aumento en la producción de las plantas, especialmente en las altas latitudes donde el aumento de la temperatura podría ser proporcionalmente mayor según las predicciones de todos los MCG.

Los posibles efectos negativos en las plantas debido a los cambios en las temperaturas y en las precipitaciones incluyen (FAO 1990):

- * Temperaturas diurnas altas, incluso por pocas horas, pueden causar la esterilidad del polen en algunos cultivos como los de arroz y trigo.
- * En algunas regiones, un aumento de la cubierta de nubes y de las precipitaciones podría resultar en una reducción de la producción de muchas cosechas. Por ejemplo, la producción de arroz durante las estaciones de lluvia podría ser 1 o 2 toneladas menor por hectárea que la producción en las estaciones secas, si cultivadas con las mismas condiciones.
- * Se prevé que las zonas actualmente caracterizadas por un clima mediterráneo (templado, inviernos lluviosos y veranos calientes y secos) se volverán más áridas, lo que llevará a una reducción de la humedad del

suelo, especialmente en las períodos de crecimiento. Ésto dará lugar a una menor productividad de los cultivos, a un menor índice de crecimiento de los bosques y a un aumento del peligro de los incendios.

Las mismas condiciones que producirán un aumento de la productividad de los cultivos, favorecerán también a las malezas, que harán mayor competencia a los cultivos.

El aumento de las temperaturas puede hacer que plagas y enfermedades se difundan, especialmente hacia el norte y hacia las tierras tropicales altas. La supervivencia de las especies adaptadas a los rigores del invierno podría ser mayor, mientras que los ciclos reproductivos podrían ser más cortos, con el consiguiente aumento de la frecuencia y de la intensidad de las epidemias.

Las zonas donde crecen ciertos cultivos y especies de árboles pueden cambiar. Un estudio indica que el cambio climático puede provocar un desplazamiento de distintos kilómetros del área de producción de cereales en Norte América del suroeste al nordeste (Easterling 1990). Dependiendo de la zona, esto podría tener efectos positivos o negativos.

19. ¿CÓMO SERÁN AFECTADOS LOS SUELOS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO?

Las temperaturas cambiantes pueden alterar el índice de la actividad microbiológica en los suelos. Si las temperaturas aumentan, el índice de la actividad microbiológica aumentará

proporcionalmente. Esto hará que la materia orgánica se descomponga más rápidamente, lo que a su vez acelerará la velocidad de emisión de CO₂. Se calcula que la cantidad de carbono almacenado en los suelos es casi el doble del de la atmósfera (ver pregunta 20). Por consiguiente, se puede prever que un pequeño aumento en el índice de la actividad microbiológica contribuirá considerablemente a aumentar la cantidad de CO₂ atmosférico. Algunos tipos de suelos son también fuentes de NO_x y CH₄.

La descomposición de materia orgánica en los suelos tiene como consecuencia la emisión de nitrógeno, haciéndolo disponible para el crecimiento de las plantas. Se prevé también que el índice de erosión química del suelo mineral aumente junto a mayores temperaturas, haciendo que hayan más nutrientes disponibles para el crecimiento de las plantas, contribuyendo a acelerar el crecimiento de las plantas (Grace 1991).

20. ¿HAY PRUEBAS DE QUE, DEBIDO AL AUMENTO DEL NIVEL DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO, LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS YA SE ESTÁN PRODUCIENDO?

En 1988 hubo una sequía en la parte central de América del Norte que causó enormes pérdidas de cultivos. Esto hizo surgir muchas conjeturas entre los científicos y la opinión pública que afirmaban que dicha sequía era el resultado de un mayor efecto invernadero. Otros fenómenos climáticos más recientes, como la sequía que comenzó en 1991/1992 y afectó gran parte de África oriental y meridional perjudicando casi 100 millones de personas (Cane et al. 1994), los fuertes huracanes que se abatieron con fuerza sobre la costa oriental de América del Norte, la gran inundación, en 1993, de las cuencas de los ríos Misisipí y Misuri de los Estados Unidos y las altas temperaturas récord de Europa y Norte América que

caracterizaron los primeros años 90, podrían llevarnos a creer que la Tierra está comenzando a resentir de los efectos del cambio climático.

Sin embargo, gran parte de los climatólogos insisten en que no hay suficiente información para determinar si estos fenómenos se deben a un clima cambiante o forman parte de una normal variación climática. Desde siempre las sociedades humanas han sido afectadas por sequías, inundaciones y grandes tempestades. Al menos un estudio indica que la sequía norteamericana de 1988 era similar a las sequías que se verificaron a inicios de siglo. Esto significaría que no hay nada nuevo o particularmente sorprendente en esta sequía. En efecto, las precipitaciones de la década pasada en el medio oeste de Estados Unidos han sido superiores a la norma, particularmente durante el verano, una tendencia opuesta a la que algunos MCG pronosticaron como repuesta de esta región al aumento del efecto invernadero (Easterling 1990). Además, en 1988, el año en que se verificó la sequía norteamericana, las precipitaciones en el Sahel, África occidental, comenzaron a volver a los niveles normales después de una sequía que había durado más de 25 años (Gommes 1993).

Otro factor que dificulta el análisis es el hecho que la población humana ha crecido considerablemente durante las últimas dos o tres décadas y, por lo tanto, más personas son afectadas cuando se verifican anomalías climáticas, como las sequías. Las altas densidades de población producen también sistemas de producción agrícola menos elásticos, lo que agrava las anomalías climáticas. De hecho, la degradación del suelo, el cultivo de tierras marginales que tienen poca fertilidad natural o poca capacidad de retener agua y períodos de barbecho más cortos, pueden agravar las consecuencias de las sequías (Gommes 1993). Esto es cierto sobre todo en regiones como la sudano-saheliana de África y las del nordeste de Brasil, históricamente propensas a sequías.

Desde la segunda mitad de 1800, la temperatura media mundial ha experimentado un aumento de 0.3°C a 0.5°C. Sin embargo, esta tendencia está tan ocultada por las variaciones anuales y regionales que es prácticamente imposible atribuir este aumento a una causa específica.

Capítulo 4
EL CICLO GLOBAL DEL CARBONO

21. ¿CUÁLES PROCESOS EXISTEN PARA EL INTERCAMBIO DE CARBONO ENTRE LA ATMÓSFERA, LOS OCÉANOS Y LA TIERRA?

En la Tierra hay una cantidad muy grande, pero finita, de carbono (Tabla 4.1). El carbono se encuentra en los océanos, en los suelos, en las reservas fósiles de carbono, en los lechos de rocas, en la atmósfera y en la biomasa vegetal. El **ciclo del carbono** es el movimiento de éste, en sus distintas formas, entre la superficie terrestre, su interior y la atmósfera. Los mecanismos principales del intercambio de carbono son la fotosíntesis, la respiración y la oxidación. Este intercambio se verifica entre los organismos vivos, la atmósfera, el suelo y el agua (Fig. 4.1). A lo largo de millones de años, el ciclo del carbono ha concentrado grandes cantidades de carbono en los lechos de rocas, principalmente como piedra caliza, y en los combustibles fósiles.

El ciclo del carbono es considerado como un conjunto de cuatro depósitos o pozos interconectados: la atmósfera, la biosfera terrestre (incluyendo los sistemas de agua fresca), los océanos y los sedimentos (incluso los combustibles fósiles). El intercambio de carbono entre los depósitos es denominado **flujo**. Estos depósitos son **fuentes** o **sumideros** de carbono. Los sumideros de carbono absorben carbono de otra parte del ciclo del carbono, mientras que las fuentes de carbono lo liberan. Por ejemplo, las plantas verdes absorben carbono de la atmósfera y como tal son consideradas sumideros de carbono; en cambio, una instalación industrial que libera carbono en la atmósfera es considerada una fuente de carbono.

TABLA 4.1**DISTRIBUCIÓN ESTIMADA DE LOS DEPÓSITOS MUNDIALES DE CARBONO (Fuente: Sombroek et al. 1993)**

Componente	GtC
Océanos	38000
Reservas fósiles de carbono	6000
Suelos	
Carbono orgánico	1200
Carbonato de calcio	720
Atmósfera	720
Biomasa vegetal	560-835
Total	47220-47495

22. ¿CÓMO SE EXPRESAN LOS INTERCAMBIOS DE CARBONO ENTRE LOS DISTINTOS DEPÓSITOS?

Los intercambios entre las reservas de carbono envuelven grandes cantidades de carbono y se expresan en múltiplos de toneladas métricas. Las unidades utilizadas en este documento son aquellas generalmente usadas en la literatura sobre el cambio climático y el flujo de carbono y equivalen a las unidades de medida que se indican a continuación.

La concentración atmosférica de los gases de efecto invernadero se expresa del siguiente modo:

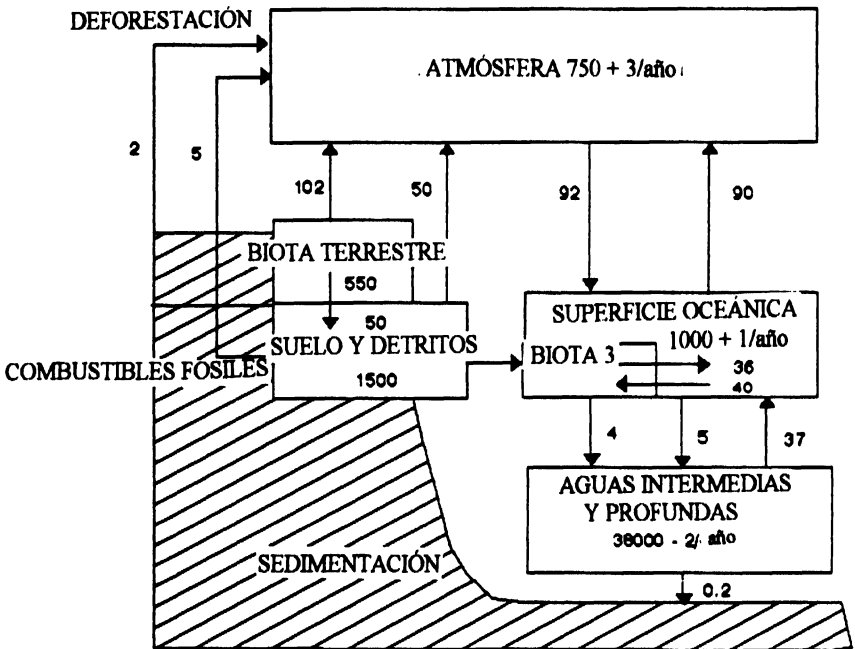


Figura 4.1 - Representación esquemática del ciclo global del carbono, con la descripción del movimiento del carbono (en Gt) entre fuentes y sumideros (Fuente: Watson et al. 1990).

1 teragrama (Tg) = 10^{12} gramos o 10^6 toneladas.
1 pentagrama (Pg) = 10^{15} gramos o 10^9 toneladas.
1 gigatonelada (Gt) = 10^9 toneladas o 1 Pg.

1 Pg = 1 Gt.

ppmv = partes por millón.

ppbv = partes por mil millones.

pptv = partes por billón (millón de millones).

23. ¿CUÁL ES EL NIVEL ACTUAL DE INTERCAMBIO DE CARBONO ENTRE LA ATMÓSFERA, LOS OCÉANOS Y LA TIERRA?

Según estimaciones hechas en la década 1980-89, los flujos anuales de carbono debido a los intercambios de CO₂ eran los siguientes (IPPC 1994):

Fuentes de CO₂:

Emisiones de los combustibles fósiles 5.5 ± 0.5 GtC/año

Emisiones netas por la utilización de tierras tropicales (deforestación, etc.) 1.6 ± 1.0

Total de emisiones 7.0 ± 1.1

Sumideros de CO₂:

Acumulación en la atmósfera 3.2 ± 0.2

Absorción por los océanos 2.0 ± 0.8

Absorción por la regeneración de los bosques del hemisferio septentrional 0.5 ± 0.5

Cuadro 4.1 Turbales - Un importante sumidero de carbono.

Los turbales podrían ser un componente adicional importante en el ciclo global de carbono. Son un depósito natural de carbono, que contiene entre 500 y 1.000 Gt de este elemento, lo que equivale aproximadamente a la cantidad contenida en los árboles mundiales y a la actualmente presente en la atmósfera terrestre.

Las tierras de turbas cubren aproximadamente 5 millones de Km² y se extienden desde la tundra helada hasta los trópicos. Grandes turbales en Sumatra y Borneo han acumulado, a lo largo de 8000 años, turba hasta una profundidad de 20 metros, que pueden contener una cantidad de carbono por hectárea 100 veces superior a la de la cercana selva tropical húmeda (Pearce 1994).

Los turbales pueden ser una fuente de carbono. En Irlanda la turba es usada como combustible fósil. Además, durante los períodos de tiempo seco, los turbales pueden quemarse hasta grandes profundidades ardiendo lentamente por mucho tiempo. Los fuegos en las turbas son muy difíciles de apagar.

Otros sumideros terrestres (por ej. efecto
fertilizante del CO₂, fertilización
del nitrógeno y efectos climáticos) 1.4 ± 1.5

Los "otros sumideros terrestres" aún no han sido cuantificados, pero se piensa que sean los componentes primarios del denominado "sumidero desconocido de carbono", que todavía es necesario conocer mejor.

Capítulo 5

**LOS ÁRBOLES Y LOS BOSQUES COMO FUENTES Y
SUMIDEROS DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO Y
DE CARBONO**

**24. ¿ACTUALMENTE CUÁNTA SUPERFICIE TERRESTRE
ESTÁ CUBIERTA POR BOSQUES Y POR OTRAS
TIERRAS ARBOLADAS?**

Según la definición de la FAO, los "bosques" son comunidades de plantas en las que al menos un 10-20% de la superficie está cubierta por las copas de los árboles, lo que representa aproximadamente 3.459 millones de ha, o sea casi el 27% de la superficie terrestre (FAO, datos no publicados).

Se definen como "otras tierras arboladas" las comunidades de plantas en las que las copas de los árboles cubren menos del 10-20% de la superficie y cuya vegetación consiste principalmente en arbustos, árboles achaparrados y matorrales de plantas leñosas de 0.5 a 7 metros de altura. Estas áreas incluyen chaparrales, sabanas arbustosas y matorrales tropicales. Estas comunidades de plantas cubren más de 13% de la superficie terrestre. Por lo tanto, más de un 40% de la superficie terrestre está cubierta por bosques y otras tierras arboladas (Tabla 5.1). Más de la mitad de estas áreas se encuentran en los trópicos.

Estos cálculos no incluyen las tierras agrícolas, donde los árboles y los arbustos son utilizados como líneas de demarcación, rompe vientos o plantaciones de árboles no forestales como pomares, café, cacao, goma y aceite de palma (Lanly 1989).

TABLA 5.1

**SUPERFICIE CUBIERTA POR BOSQUES Y OTRAS TIERRAS
ARBOLOADAS A NIVEL REGIONAL (1980)**

(Fuente: Lanly 1989, FAO, datos no publicados)

Región	Bosques (%)	Otras tierras arboladas (%)	Total (%)
África	18.0	21.3	39.3
Américas	37.0	15.2	55.2
Asia-Pacífico	19.0	7.0	26.0
Europa*	27.0	8.6	35.6
MUNDO	27.0	13.0	40.0

* Incluye Rusia

**25. ¿CUÁLES PROCESOS SE VERIFICAN EN LOS
ÁRBOLES Y EN LOS BOSQUES QUE
CONTRIBUYEN A CAMBIAR LOS NIVELES
ATMOSFÉRICOS DE LOS GASES DE EFECTO
INVERNADERO?**

Las plantas verdes absorben el CO₂ de la atmósfera a través de la fotosíntesis. El carbono se deposita en el follaje, tallos, sistemas radiculares y, sobre todo, en el tejido leñoso de los troncos y en las ramas principales de los árboles. Debido a la longevidad de la mayoría de los árboles y a su tamaño relativamente grande, los árboles y los bosques son almacenes de carbono. En total, los bosques contienen una cantidad de

carbono de 20 a 100 veces superior por unidad de área que las tierras de cultivo y juegan un papel crítico en la regulación del nivel de carbono atmosférico. Se ha calculado que los bosques mundiales contienen más del 80% del carbono presente sobre la superficie terrestre y aproximadamente el 40% de todo el carbono existente en el subsuelo terrestre (suelo, desperdicios y raíces). Esto equivale a casi 1.146 GtC. Aproximadamente el 37% de este carbono se encuentra en los bosques (tropicales) de baja latitud, un 14% en los bosques (templados) de media latitud y un 49% en los bosques de alta latitud (Dixon et al. 1994).

Cuando los árboles se mueren o son talados, el carbono almacenado es desprendido. Parte de este carbono se integra a la materia orgánica de la que se componen los suelos forestales, donde, dependiendo de las condiciones climáticas, puede permanecer por mucho tiempo. Lo restante es liberado en la atmósfera, sobre todo bajo forma de CO₂, pero también como CH₄ y otros gases de efecto invernadero. La emisión puede ser lenta, como en el caso de un árbol que se está muriendo o sujeto por años a la descomposición o a la putrefacción, a causa de la acción de los hongos, insectos, bacterias y otros organismos. En cambio, una perturbación repentina, como fuegos no controlados, desmontes o la quema de los bosques con fines agrícolas y para asentamientos humanos, puede causar una rápida emisión en la atmósfera de grandes cantidades de gases de efecto invernadero.

26. ¿CUÁNTO CARBONO ES ANUALMENTE LIBERADO Y ABSORBIDO POR LOS BOSQUES?

Los cálculos para el año 1990 indican que la emisión de 1.6 ± 0.4 GtC al año de los bosques de baja latitud se debe fundamentalmente a la deforestación. Esto equivale a casi un 23% de las emisiones totales de carbono, incluyendo la quema de combustibles fósiles. Esta cifra fue compensada por una

absorción de 0.7 ± 0.2 GtC al año, debido a la expansión y al crecimiento de los bosques en las medias y altas latitudes (Tabla 5.2). Por lo tanto, hay una **contribución** neta de carbono atmosférico de 0.9 ± 0.4 GtC al año, por parte de los ecosistemas forestales mundiales (Dixon et al. 1994). Esto se debe, sin duda, a los mayores índices de deforestación tropical durante la década de los años 80 (ver pregunta 25). A principios de este decenio, la acumulación calculada de carbono en las áreas tropicales en vías de recuperación, que precedentemente habían sido perturbadas, era casi igual a la de las emisiones netas de carbono debidas a la deforestación tropical y a la quema asociada (Lugo y Brown 1992).

27. ¿SE DIFERENCIAN LOS DISTINTOS ECOSISTEMAS EN SU CAPACIDAD DE ABSORBER Y ALMACENAR CARBONO?

Los bosques se diferencian en modo significativo en su capacidad de absorber y almacenar carbono. Los factores que influyen los índices de absorción de carbono son: temperatura, precipitación, densidad de masa, suelo, pendiente, altura, condiciones topográficas, índice de crecimiento y edad.

En términos generales, los bosques densos tienen mayor capacidad para almacenar carbono que los bosques abiertos y las zonas arboladas. Los bosques que no han sufrido perturbaciones pueden almacenar más carbono que los bosques degradados. Los bosques húmedos, en cambio, contienen más carbono que los bosques de zonas áridas o semi-áridas y los bosques maduros almacenan mayores cantidades de carbono que los bosques jóvenes.

Se han realizado muchos estudios para calcular la biomasa de los ecosistemas forestales, los que también pueden ser utilizados para calcular el almacenamiento de carbono. La

TABLA 5.2

**PORCENTAJES ESTIMADOS DEL INTERCAMBIO ANUAL DE
CARBONO ENTRE LOS BOSQUES MUNDIALES
Y LA ATMÓSFERA**

Franjas de Latitudes	Intercambio de carbono (Gt/año) ***
<i>Alta</i>	
Rusia	+0.30 to +0.50
Canadá	<u>+0.08</u>
Subtotal	+0.48 ±0.1
<i>Media</i>	
EE.UU*	+0.10 to +0.25
Europa**	+0.09 to +0.12
China	-0.02
Australia	<u>algunos rastros</u>
Subtotal	+0.26 ±0.09
<i>Baja</i>	
Asia	-0.50 to -0.90
Africa	-0.25 to -0.45
Américas	<u>-0.50 to -0.70</u>
Subtotal	-1.65 ± 0.40
Total	-0.9 ± 0.4

* Incluye EE.UU continental y Alaska.

** Incluye los países nórdicos.

*** + Indica transferencia desde la atmósfera hacia los bosques.

- Indica transferencia desde los bosques hacia la atmósfera.

relación de la biomasa seca total con el carbono es de aproximadamente 2:1. El contenido de carbono de una bosque tropical húmedo puede alcanzar hasta tanto como 250 tnC/ha en su parte en pie, sobre la biomasa del suelo. En cambio, el contenido de carbono de los bosques tropicales secos con una espesura abierta y discontinua, generalmente alcanza menos de una media de 40 tnC/ha (Brown y Lugo 1984) (Tabla 5.3).

También el suelo forestal contiene carbono. Un reciente estudio indica que el 84.3% del carbono total contenido en los bosques de las altas latitudes está almacenado en el suelo. En el suelo de los bosques de media latitud está almacenado el 63% del carbono y en los bosques de baja latitud el porcentaje es de 50.4% (Dixon et al. 1994) (Tabla 5.4).

28. ¿LOS ÁRBOLES Y LOS BOSQUES ABSORBEN CARBONO DE LA SUPERFICIE TERRESTRE EN DIFERENTE PROPORCIÓN DURANTE LAS DISTINTAS FASES DE SU VIDA?

La proporción de absorción de carbono de los árboles y de los bosques es una función del índice de crecimiento y de la edad. En términos generales, los árboles y los bosques absorben grandes cantidades de carbono cuando son jóvenes y crecen rápidamente. A medida que los rodales se acercan a la madurez y los índices de crecimiento disminuyen, también la absorción neta de carbono disminuye. En teoría, los bosques maduros alcanzan un nivel de equilibrio en lo que se refiere a la absorción de carbono. Aproximadamente una cantidad equivalente de carbono a la que es absorbida se desprende tras la descomposición de los árboles muertos o enfermos.

Sin embargo, ésto se verifica raramente en los bosques naturales. Los bosques adultos, si no sufren perturbaciones, son depósitos de carbono, pero no necesariamente sumideros netos de carbono.

TABLA 5.3
ESTIMACIONES DE LA MEDIA DE CARBONO/HA ALMACENADO
SOBRE LA SUPERFICIE EN DISTINTAS COMUNIDADES
DE VEGETACIÓN

(Basado en los valores de biomasa de Olsen *et al.* (1983))

Zonas de Vida de Holdridge	tC/ha
Tropical lluvioso	100
Tropical húmedo	70
Tropical seco	50
Subtropical lluvioso	65
Subtropical húmedo	35
Caliente templado	50
Caliente seco templado	25
Templado fresco	50
Boreal lluvioso	55
Boreal húmedo	40
Tierras arboladas espinosas	15
Estepa espinosa templada	8
Estepa fresca templada	5
Matorral desértico tropical	2
Matorral desértico templado	3
Desierto boreal	5
Tundra	2.5


TABLA 5.4

DENSIDADES ESTIMADAS DE CARBONO POR UNIDAD
DE AREA FORESTAL EN LA VEGETACION Y EN LOS
SUELOS DE LOS BOSQUES MUNDIALES

Franjas de Latitudes	Densidades de Carbón (tC/ha)	
	Vegetación	Suelos
<i>Alta</i>		
Russia	83	281
Canadá	28	484
Alaska	<u>39</u>	<u>212</u>
Media	64 (15.7%)	343 (84.3%)
<i>Media</i>		
EE.UU	62	108
Europa*	32	90
China	114	136
Australia	<u>45</u>	<u>83</u>
Media	57 (37%)	96 (63%)
<i>Baja</i>		
Asia	132-174	139
Africa	99	120
Américas	<u>130</u>	<u>120</u>
Media	121 (49.6%)	123 (50.4%)

* Incluye los países Nórdicos

Fuente: Dixon et al 1994.



Cuadro 5.1 El papel de las plantaciones forestales en el equilibrio carbónico de Nueva Zelandia.

Según los cálculos realizados por un equipo de investigadores en Nueva Zelandia, los 1.24 millones de ha de plantaciones forestales del país absorbieron 4.5 ± 0.8 millones de toneladas de carbono entre el 1 de abril de 1988 y el 1 de abril de 1989. Se calcula que la cantidad total de carbono sobre la superficie depositada en las plantaciones forestales de Nueva Zelandia es de 88 millones de toneladas aproximadamente.

La absorción de carbono de las plantaciones forestales neozelandesas, durante el período estudiado, equivalía a casi un 70% de las emisiones de combustibles fósiles del país, lo que significa < del 0.1% de las emisiones totales de combustibles fósiles.

El alto índice anual de absorción de carbono de dichas plantaciones es una consecuencia de extensas nuevas plantaciones realizadas durante los años 70 y 80. Sin estas continuas nuevas plantaciones, el índice de absorción anual de carbono neto de éstas sería rápidamente cero (Hollinger et al. 1993).

Los estudios sobre los porcentajes de absorción de carbono de las plantaciones forestales tropicales indican que el máximo crecimiento y absorción de carbono ocurre durante las edades de 0-5 y 6-10 años (62%). En cambio, la absorción de carbono disminuye de un 50% en los 5 años siguientes y se reduce aún más después de los 16 años de edad (Brown *et al.* 1986).

29. ¿QUÉ ACTIVIDADES HUMANAS EN LOS BOSQUES Y EN LAS TIERRAS ARBOLADAS CONTRIBUYEN A AUMENTAR LOS NIVELES DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO?

DEFORESTACIÓN - Cortar o quemar los bosques con fines agrícolas o de pastoreo es la causa principal del aumento de los niveles de los gases de efecto invernadero y es la segunda fuente humana más importante de dichos gases.

Las sociedades humanas han cortado los bosques por miles de años. Hasta la primera parte de este siglo, la deforestación ocurría fundamentalmente en los bosques templados. En cambio, últimamente, se ha concentrado en los trópicos. La deforestación y la quema asociada causan una emisión rápida y masiva de carbono en la atmósfera, principalmente bajo forma de CO₂. También son desprendidas cantidades menores de CH₄ y CO. Los bosques tropicales juegan un papel importante en el ciclo global del carbono dado que contienen casi un 50% del carbono activo terrestre mundial (Dixon *et al.* 1994). Los altos índices de deforestación en los trópicos son la razón que explica por qué actualmente los bosques contribuyen en modo neto a aportar carbono a la atmósfera, a pesar del hecho de que son capaces de contener grandes cantidades de carbono.

Además, la deforestación puede alterar directamente el clima aumentando la reflexión (albedo) y disminuyendo la evapotranspiración. En base a algunos modelos climáticos, la

sustitución de todos los bosque de la cuenca amazónica con praderas causaría una disminución de sus lluvias de un 20% aproximadamente y un aumento de la temperatura media regional de varios grados centígrados (Maunder 1990).

QUEMA DE LA BIOMASA - El término "quema de la biomasa" incluye todas las actividades humanas intencionales asociadas con el desmonte, quema de la vegetación de la sabana para estimular la regeneración del pastos para el ganado, quema de leña y de carbón vegetal y consumo de residuos agrícolas. Se calcula que el área de sabana que se quema anualmente es de 750 millones de ha. Aproximadamente la mitad de esta área se encuentra en África (Fig. 5.1). Los cultivos migratorios son una práctica agrícola mediante la cual la vegetación natural es eliminada y el área es utilizada por un período que va de 2 a 5 años, a continuación del cual el terreno se deja en barbecho para que la vegetación crezca nuevamente por 12 años, antes de ser limpiada de nuevo. Esta técnica es utilizada por 200 millones de personas en todo el mundo, en una superficie de 300 a 500 millones de ha. Aproximadamente un 87% de la quema de biomasa se realiza en los trópicos.

FUEGOS INCONTROLADOS - Se definen "fuegos incontrolados" los fuegos que se verifican en tierras vírgenes, con excepción de los incendios dirigidos (los que son desencadenados intencionalmente) (FAO 1986). Algunos cálculos recientes estiman que anualmente se queman entre 12 y 13 millones de ha de bosques y otras tierras arboladas (Calabri y Ciesla 1992). Con excepción de algunas áreas forestales remotas en Norte América y Siberia, la mayor parte de los incendios forestales y de otras tierras vírgenes son de origen humana. Los fuegos incontrolados causados por el hombre incluyen aquellos fuegos dirigidos que se escapan de control, los provocados por falta de atención y los incendios dolosos. Las causas naturales de los incendios son los relámpagos de las tempestades, la actividad volcánica y la quema de los depósitos de turba y de carbón.

OTRAS ACTIVIDADES - Otras actividades humanas relacionadas con los bosques y los productos forestales que contribuyen a aumentar los niveles de los gases de efecto invernadero incluyen: el deterioramiento de los bosques y desechos de productos madereros, sobre todo productos de papel, después que concluyeron su período de utilidad.



Figura 5.1 - Vista aérea de un incendio de matorrales en Sudán. Aproximadamente 750 millones de ha de vegetación de la sabana se queman anualmente, causando una emisión masiva de gases de efecto invernadero.

30. ¿CUÁL ES EL PORCENTAJE ACTUAL DE DEFORESTACIÓN DE LOS BOSQUES MUNDIALES?

La media de deforestación tropical durante la década de 1981-90 era de 15.4 millones de ha (FAO 1993). Esta cifra es equivalente casi a la superficie total de Nepal, Nicaragua o Grecia y llevó a la reducción de la superficie de bosques tropicales de 1.910 millones ha, a finales de 1980, a 1.760 millones de ha a finales de 1990. A escala regional, la pérdida anual de la superficie forestal fue: América Latina y Caribe, 7.4 millones de ha (0.8% de la superficie forestal total), Asia y el Pacífico, 3.9 millones de ha (1.2%) y África, 4.1 millones de ha (0.7%). El área forestal de las zonas templadas y boreales no han experimentado cambios significativos durante el mismo período. Los porcentajes de deforestación en los trópicos han aumentado si los comparamos a los de la década anterior. Durante los años 80, la tasa anual de deforestación tropical fue de 11.3 millones de ha (Lanly 1982).

Los bosques en las regiones templadas desarrolladas ocupan actualmente áreas más pequeñas que en el pasado. Estos bosques, a lo largo de la historia, han contribuido mucho a las emisiones globales de carbono a medida que los bosques de Europa y Norte América eran cortados con objetivo agrícola. Sin embargo, la superficie de estos bosques se ha estabilizado e incluso ha aumentado un poco durante los pasados 100 años, conforme las tierras agrícolas eran abandonadas y convertidas nuevamente en bosques. Por ejemplo, en Francia los bosques cubrían sólo un 14% del territorio nacional en 1798. Hoy en día un 27% de su territorio está cubierto por bosques. En el estado de Vermont, EE.UU., hace aproximadamente 100 años atrás, la deforestación y el desarrollo de la agricultura redujeron la superficie forestal a casi un 15% del territorio total. Hoy los bosques cubren el 85% de territorio.

31. ¿CÓMO LA DEFORESTACIÓN AFECTA A LOS SUELOS FORESTALES?

Además de aumentar la sensibilidad de los suelos a la erosión provocada por el viento y el agua, la roza de los bosques y de los terrenos boscosos para la agricultura en los trópicos puede producir una pérdida de un 20 a un 50% del carbono del suelo contenido en la capa superficial. Algunos cálculos indican que, alrededor de los años 90, la deforestación de los trópicos produjo una liberación neta del carbono contenido en el suelo que oscila entre 0.1 y 0.3 Gt, comparada con las emisiones de 0.3 y 1.3 Gt causadas por la quema y la decadencia de la vegetación, respectivamente (Sombroek et al 1993).

Capítulo 6
POSIBLES EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO
EN LOS BOSQUES

32. ¿QUÉ CAMBIOS DEBEMOS ESPERAR EN EL CRECIMIENTO Y EN LA PRODUCCIÓN DE LOS ÁRBOLES Y DE LOS BOSQUES COMO RESULTADO DEL CAMBIO CLIMÁTICO?

Todavía no están claras las consecuencias de la fertilización del CO₂ en el crecimiento y en la productividad de los árboles y de los bosques. Los estudios de laboratorio sobre el índice de crecimiento y productividad de plantas que crecen en ambientes con niveles elevados de CO₂ han documentado: aumentos en los índices de fotosíntesis, reducción de la necesidad de las plantas de usar agua, mayor absorción de carbono y aumento en la actividad microbiológica del suelo. Ésto produce mayores índices de fijación de nitrógeno, que a su vez estimulan el crecimiento. Sin embargo, se duda que la producción vegetal pueda realmente incrementarse en un ecosistema natural donde apacentan los animales, los organismos patológicos causan daños y la muerte de los árboles y las plantas compiten por la luz, el agua y por los nutrientes disponibles. Además, un mayor crecimiento y productividad podrían ser compensados por las grandes pérdidas causadas por los incendios, insectos y enfermedades (ver preguntas 35 y 36).

Hasta la fecha no se han realizado muchos estudios para examinar los efectos de las altas concentraciones de CO₂ en los bosques o en otras comunidades naturales de plantas por largos períodos. Por lo tanto, el efecto neto del cambio climático en el crecimiento y en la productividad de los bosques es incierto. Sedjo y Solomon (1989) afirman que el fenómeno de la fertilización del CO₂, no ha sido todavía

detectado en los árboles, a pesar de los varios análisis realizados en el campo y en las cámaras de crecimiento.

33. ¿DEBIDO AL CAMBIO CLIMÁTICO, QUÉ CAMBIOS SE PUEDEN PREVER EN LA DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES DE ÁRBOLES Y DE LAS COMUNIDADES DE PLANTAS?

Cuando cambian los patrones de temperaturas y precipitaciones, tanto la distribución de los animales como la de las de las especies de plantas cambia. A medida que la Tierra se calienta, las distintas especies tienden a cambiar su distribución hacia mayores latitudes y alturas. **Por cada 1°C más, la distribución de los árboles en el hemisferio septentrional puede expandirse 100 Km hacia el norte mientras que las fronteras meridionales se retiran.** Este proceso ha sido detectado desde la última época glacial (Davis 1989).

Hay muchas pruebas en los restos fósiles que indican que las plantas han experimentado cambios considerables en su distribución como consecuencia de los cambios climáticos. También los análisis de los datos obtenidos del polen fósil proporcionan información acerca de la composición de la vegetación pasada (Brubaker 1975, Solomon y Bartlein 1992) (Fig. 6.1). Durante los períodos interglaciares del Pleistoceno, las temperaturas en Norte América eran de 2° a 3°C más altas que las actuales. Las especies de árboles, como la goma colorada, *Liquidambar styraciflua*, y la maclura, *Maclura pomifera*, que hoy se consideran componentes típicos de la vegetación forestal del sudeste de Estados Unidos, crecían cerca de Toronto, Canadá. Durante la última época interglaciar, que acabó más de 100.000 años atrás, las áreas que hoy están cubiertas con vegetación boreal en el noroeste de Europa, eran en su mayor parte templadas. Más recientemente, en Suecia, la distribución del abedul, *Betula*

pubescens, reaccionó rápidamente al calentamiento que se produjo en la primera mitad del siglo XX, expandiendo su distribución hacia el norte, en la tundra (Peters 1990).

Los cambios en la distribución de las especies de árboles podrían ser importantes por muchas razones. En primer lugar, hay señales que indican que el clima podría cambiar más rápidamente que la capacidad de algunas especies arbóreas en reaccionar a esta nueva situación migrando. En segundo lugar, algunas nuevas zonas podrían no ser edáficamente apropiadas para la migración de algunas especies. Por último, las futuras zonas climáticas, que dan origen a ecosistemas forestales

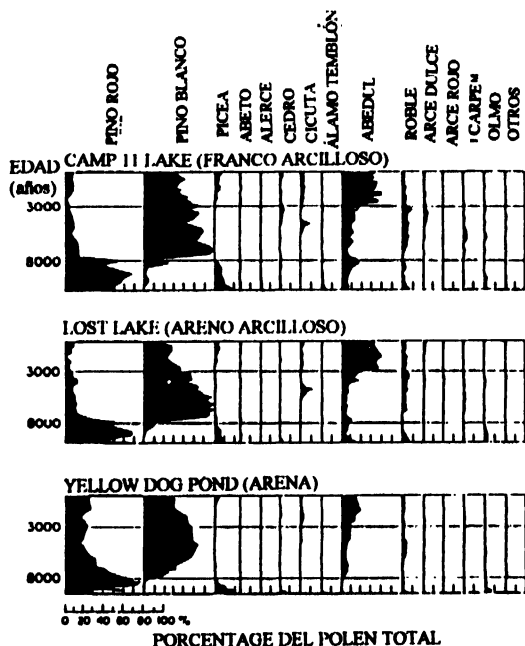


Figura 6.1 - Diagramas de polen fósil realizados por los análisis de los sedimentos de lago de la Península Superior de Michigan, EE.UU..Estos datos proporcionan indicios tales como la composición de los bosques que existían en esta área en el pasado (Fuente: Solomon y Bartlein 1992).

desplazados, pueden no estar relacionadas con las actuales fronteras políticas y/o con los modelos de utilización del suelo (Izrael et al 1990).

Se han hecho estudios que prevén los cambios en la distribución natural de los ecosistemas vegetales y de las especies arbóreas, que pueden ser consecuencia de cambios de temperaturas y de humedad, debido a los niveles atmosféricos de los gases de efecto invernadero. Miller *et al.* (1987) prevén que como respuesta al calentamiento terrestre de 3°C, el pino americano, *Pinus taeda*, una importante especie forestal del sudeste de los EE.UU., se desplazará aproximadamente 350 Km hacia el norte (Fig. 6.3).

Los cambios en la distribución natural de los animales y de las plantas ocurrirán según las necesidades individuales de las especies y no necesariamente del ecosistema en su totalidad. Por lo tanto, debido al cambio climático, se pueden prever algunos reordenamientos de las asociaciones de especies.

Las especies pueden desplazarse cambiando la altura o la latitud de su distribución. A medida que las temperaturas aumenten, las especies se desplazarán hacia lugares más altos. Generalmente, a un pequeño aumento de la altura corresponde un significativo cambio de latitud (Fig. 6.4). Por ejemplo, **a un enfriamiento de 3°C asociado con un desplazamiento de 500 m más de altura corresponde un cambio de 250 km de latitud.** Dado que las cumbres de las montañas son más pequeñas que sus bases, a medida que las especies se dirijan hacia zonas con mayores alturas debido al aumento de la temperatura, ocuparán menores superficies, tendrán poblaciones más reducidas y podrán volverse más vulnerables a las presiones genéticas y medio ambientales (Peters 1990, Sombroek 1990). Esto podría perjudicar la distribución y la abundancia de especies endémicas, cuya distribución natural ya está confinada a las grandes alturas, tanto en los ecosistemas templados como en los tropicales

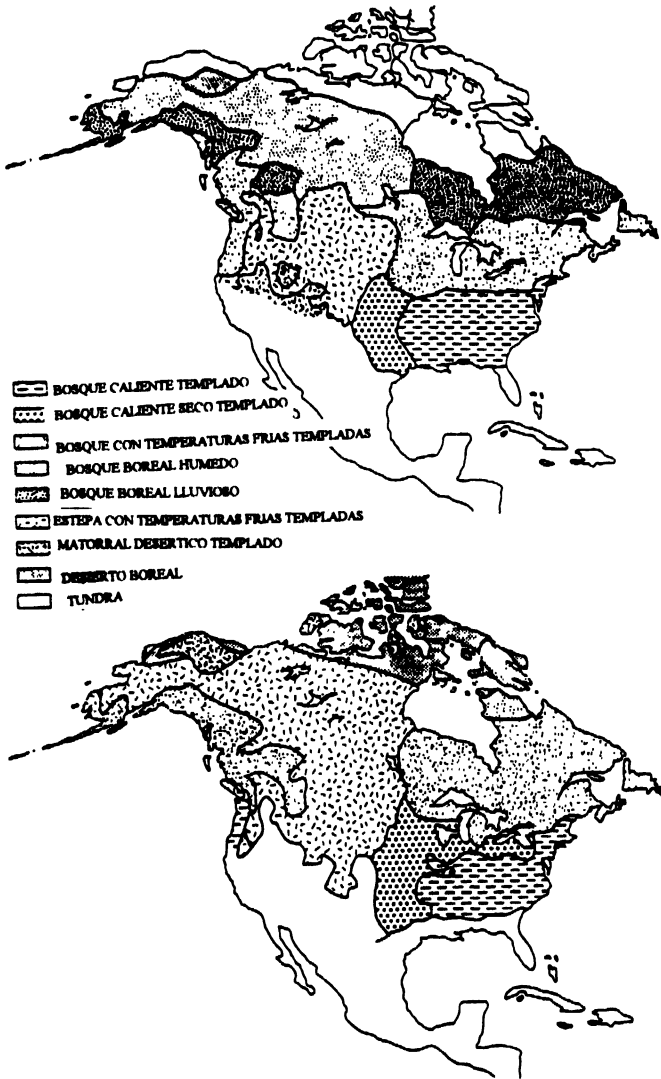


Fig. 6.2 - Clasificación de las Zonas de Vida de Holdridge de tipos de vegetación actual (superior) y bajo un escenario de temperaturas con CO₂ duplicado (Fuente: Pollard 1985, reelaborado por Parry y Carter 1984).

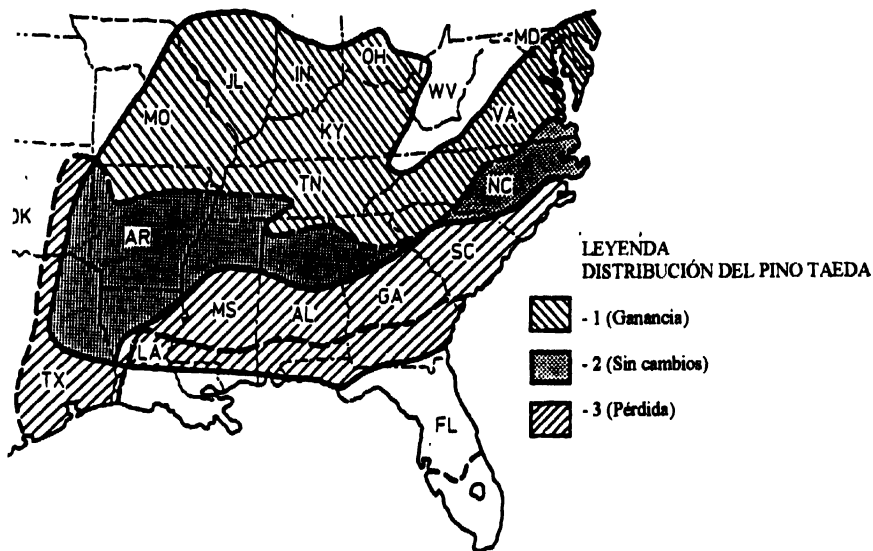


Figura 6.3 - Posible redistribución del pino americano, *Pinus taeda*, en el sudeste de los Estados Unidos debido a la duplicación del CO₂ atmosférico (Fuente - Miller et al 1987)

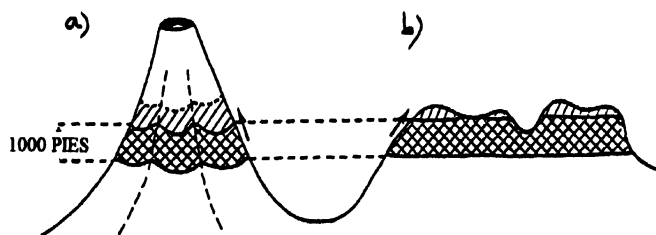



Figura 6.4 - Ejemplos de redistribución de especies en las regiones de altas montañas debido al incremento medio anual de temperatura de 2°C: a = causando en las montañas del este de África un incremento relativamente pequeño del área vegetal, y b = causando en la tierras altas de Uganda la casi desaparición de la zona vegetal en las grandes alturas (Fuente: Sombroek 1990).


Cuadro 6.1 ¿Los futuros bosques mundiales van a ser más secos?

En una atmósfera con elevados niveles de CO₂ las plantas pueden tener un menor índice de transpiración. El resultado de esto podría ser un mundo con una formación reducida de nubes y precipitaciones, según un informe del *Terrestrial Initiative on Global Environmental Research* (TIGER) del *Natural Environmental Research Council of the United Kingdom*.

Muchos grupos de trabajo han coligado con éxito los modelos informáticos de los procesos de la superficie terrestre con los modelos para la previsión del clima. Un modelo sencillo para la previsión climática ha pronosticado que, en un medio ambiente con mayores niveles de CO₂, se producirá casi un 10% más en el porcentaje de evaporación y un 3% más de lluvias en las selvas tropicales higrofitas. Sin embargo, apenas se describió más realísticamente el bosque tropical, una nueva cadena de acontecimientos se produjo, llevando a una menor disponibilidad de agua para la formación de nubes, a una menor evaporación y precipitaciones (OMM 1994).



(por ej. aquellas especies endémicas de los bosques higrofiticos nubosos de alturas en los trópicos, o, de los bosques boreales de las islas con grandes alturas que se encuentran en el sur de los Montes Apalaches de los Estados Unidos).

Un reciente estudio realizado por un grupo de científicos que trabaja en los Alpes austríacos muestra que las especies vegetales alpinas se están desplazando hacia las cumbres de las montañas a una velocidad que oscila entre un metro a casi cuatro metros por años. Estos datos se basan en estudios realizados en 26 cumbres de montañas en 1992 y comparados con informes históricos de las especies vegetales alpinas de las mismas montañas de 70-90 años atrás. Los Alpes han experimentados un aumento de temperatura de 0.7°C durante el periodo citado (Grabherr et al. 1994).

El aumento del nivel del mar, como consecuencia del aumento de las temperaturas, podría afectar la distribución y la abundancia de los manglares. Estos bosques costeros proporcionan una rica gama de productos madereros y no madereros y de servicios. Además de satisfacer las necesidades de productos madereros de los habitantes de las zonas costeras tropicales, proporcionan un habitat rico para la pesca y la acuicultura. Asimismo, estos bosques protegen las zonas costeras de las tempestades tropicales y de la erosión de la costa y ofrecen sitios de reproducción para un gran número de especies faunísticas (FAO 1994, Gable et al. 1990).

Los futuros cambios en la distribución natural de los árboles y de las comunidades forestales pueden tener efectos positivos y negativos en la provisión de maderas y de otros productos forestales, en la distancia de los mercados, en la diversidad de las especies y en la sensibilidad a los incendios, plagas y enfermedades.

34. ¿QUÉ PROBABILIDAD EXISTE DE QUE EL CAMBIO CLIMÁTICO AMENACE LA EXTINCIÓN DE ALGUNAS ESPECIES O COMUNIDADES DE PLANTAS?

La probabilidad de que las especies vegetales y animales puedan desaparecer debido al cambio climático no es segura. Generalmente los animales, gracias a su movilidad, corren menos riesgos porque son capaces de desplazarse hacia hábitat para ellos más favorables. En cambio, las plantas son inmóviles y dependen de la diseminación de las semillas desde zonas que para ellas ya no son más favorables hacia nuevas zonas, produciendo así un cambio gradual en su distribución natural. Durante la época glacial del Pleistoceno, muchas especies arbóreas desaparecieron de los bosques boreales y templados de Europa porque no podían cambiar la propia distribución hacia el sur, dada la presencia de los Alpes, de los Pirineos y de otras cadenas montañosas, en su mayor parte en el este y en el oeste, que actuaron como barreras naturales para la migración de las plantas. Por consiguiente, los bosques del norte de Europa tienen muchas menos especies de las que crecen a las mismas latitudes en Asia y Norte América.

En general, los ecologistas opinan que las especies vegetales que tienen una amplia distribución geográfica y grandes poblaciones serán las que más probablemente sobrevivirán al cambio climático. Algunos ejemplos incluyen especies como el *Pinus sylvestris*, que se extiende desde Europa occidental hasta Siberia, el *Populus tremula* y el *P. tremuloides* cuyas distribuciones se extienden en los dos continentes. Las especies raras o con distribuciones geográficas limitadas correrán mayores riesgos de extinción. Ésto es cierto sobre todo para aquellas especies limitadas a las grandes alturas, que a la larga no podrán cambiar la propia distribución hacia aún mayores alturas como respuesta a un clima más caliente. Un ejemplo es el Fraser o abeto balsámico meridional, *Abies fraseri*, un árbol cuya distribución natural se extiende en las zonas más altas de seis áreas del sur de los Montes Apalaches

en Estados Unidos (Fig. 6.5). Otra categoría de plantas que corre el riesgo de desaparecer son aquellas cuyas semillas son pesadas y que, por lo tanto, no se dispersan fácilmente.

Otros ecologistas, en cambio, afirman que el peligro de extinción de especies de plantas y la consiguiente pérdida de biodiversidad es mínima porque las plantas poseen variaciones genéticas que les permiten adaptarse a condiciones medio ambientales cambiantes. La variación genética es un requisito previo para la evolución y es un mecanismo poderoso que permite a plantas y animales de cambiar y adaptarse (Eriksson et al. 1993).



Figura 6.5 - Un bosque de *Abies fraseri* y *Picea rubens* cubre ambos lados de las cadenas montañosas más altas de los Montes Negros de Carolina del Norte, EE.UU. Este tipo de bosques podría ser incapaz de cambiar su distribución hacia mayores alturas como respuesta a un clima más caliente.

35. ¿CÓMO PUEDE INFLUENCIAR EL CAMBIO CLIMÁTICO LA FRECUENCIA Y LA INTENSIDAD DE LOS INCENDIOS?

Así como la estructura, la composición y la biomasa de los bosques responderán a los cambios climáticos, así también sucederá con el comportamiento del fuego (Fosberg et al 1990). Algunos de los cambios previstos incluyen aumentos en la frecuencia e intensidad de los fuegos y una prolongación de la estación de los incendios en áreas que ya son propensas a éstos.

Algunos bosques tropicales están sujetos a sequías prolongadas, como las causadas por la Oscilación Meridional de El Niño (ENSO). Estas sequías pueden cambiar drásticamente las condiciones de combustión y de inflamabilidad de la vegetación. Cuando las precipitaciones son menores a los 100 mm al mes y hay períodos de dos o más semanas sin lluvia, la vegetación forestal se despoja progresivamente de su follaje debido a un progresivo aumento del estrés causado por la sequía. Además, el contenido de humedad de los combustibles de la superficie disminuye mientras que el material leñoso que cae y la acumulación de hojas en el suelo contribuye al aumento y a la propagación de los incendios de superficie. Los combustibles aéreos, como las enredaderas y las lianas disecadas, se transforman en escaleras de fuego que lo conducen hacia las copas de los árboles. Fueron estos factores los que prepararon las condiciones para los incendios catastróficos que ocurrieron en el este de Kalimantan, Indonesia, en 1982-83, y que causaron la destrucción de más de 3.5 millones de ha de bosques húmedos primarios y secundarios. Algunos modelos globales de cálculo (MGC) prevén que las sequías aumentarán en algunos bosques tropicales. Por consiguiente, podría aumentar la frecuencia de los grandes incendios, como los que se verificaron en el este de Kalimantan.

Algunos bosques tropicales, especialmente los de los trópicos subecuatoriales (de 10° a 23° latitud) son sujetos a huracanes. Los daños causados por estas tempestades favorecen la invasión de trepadoras, que pueden contribuir a la acumulación de biomasa de follaje en las superficies de los suelos abiertos, especialmente durante ocasionales períodos secos. Esto produce la acumulación de combustibles que pueden provocar incendios (Mueller-Dombois y Goldammer 1990).

La acumulación de combustible, consecuencia directa de las tempestades tropicales, también puede aumentar el riesgo de los incendios. En 1988, el huracán Gilbert atravesó parte de la Península de Yucatán en México, dañando más de 1 millón de ha de bosque tropical. El volumen de productos combustibles conformado por los escombros aumentó el peligro de incendios. Durante el año siguiente, más de 120.000 ha del más grande bosque tropical mexicano fueron destruidas por incendios (Ciesla 1993). Uno de los más inciertos efectos previstos del cambio climático es la posibilidad de que aumente la frecuencia y la intensidad de las tempestades tropicales, que aumentarían los niveles de leña combustible.

En algunos bosques remotos, los rayos son la causa principal de los incendios. Se realizó un estudio, en el que se utilizaron los datos procedentes de los MGC, para determinar la frecuencia de los relámpagos en un régimen climático con doble cantidad de CO₂. Este estudio pronosticó un aumento de la frecuencia de rayos en todas las latitudes, con un aumento medio global de un 26% (Fosberg et al 1990).

36. ¿CUÁLES SON LOS EFECTOS PREVISTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SALUD DE LOS BOSQUES, INCLUYENDO LA SENSIBILIDAD A LAS PLAGAS Y A LAS ENFERMEDADES O A LA DECADENCIA?

Uno de los primeros efectos observados del cambio climático fue un aumento de los insectos y de las enfermedades que causaron pérdidas en los bosques. Se puede comprobar lo dicho analizando las epidemias de plagas que ocurrieron y que son el resultado del estrés causado por las sequías periódicas y por el exceso de lluvia. Los estudios de Kristiansen (1993) y de Sauerbeck (1992) sobre los posibles efectos del cambio climático con respecto a las plagas y a las enfermedades en la agricultura, nos ofrecen un marco para identificar los posibles efectos en el sector forestal, que pueden tener respuestas negativas o positivas.

Algunos de los efectos **negativos** previstos en la salud de los bosques son:

- * Mayores temperaturas, en ciertas localidades, podrían acelerar los ciclos reproductivos de las plagas de insectos al año, aumentando así el potencial destructivo de los mismos. Esto es válido sobre todo para aquellos insectos que ya hoy tienen más de un ciclo reproductivo al año. Un ejemplo de un insecto forestal que destruye los bosques tropicales, cuyo ciclo reproductivo podría aumentar debido al calentamiento del clima, es la oruga del pino, *Dendrolimus punctatus*, un importante defoliador de los pinos tropicales en China meridional y en el sudeste asiático (Fig 6.6).



Figura 6.6 - Los insectos, como la oruga del pino, *Dendrolimus punctatus*, un defoliador que destruye los pinos tropicales del sudeste asiático, en climas más calientes podrían tener más ciclos reproductivos.

La relación entre las especies que causan plagas con sus enemigos naturales podría cambiar en favor de las plagas. Ésto aumentaría el potencial reproductivo de las plagas que destruyen los bosques, produciendo un mayor nivel de daños.

Como parte del cambio climático se prevé un aumento de las anomalías climáticas. Una mayor frecuencia de sequías, tempestades, períodos de grande frío o de excesiva lluvia causarán una mayor tensión en los árboles y en los bosques haciéndolos más sensibles a los ataques de las plagas y de las enfermedades. Las anomalías climáticas podrían aumentar también la sensibilidad de los árboles a la contaminación atmosférica antropogénica. También podría aumentar la decadencia de los bosques. Todo esto es el resultado de una compleja interacción de los bosques con el clima, el sitio, las plagas, las enfermedades y en muchos casos, con las actividades humanas (Mueller-Dombois 1992). Algunos ejemplos incluyen la muerte regresiva de *Metrosideros polymorpha* en las islas hawaianas, EE.UU., de *Azadirachta indica*, en la región africana de Sahel, de *Acacia nilotica* en Sudán y de *Eucalyptus* en Australia y América del Sur (Ciesla y Donaubauer 1994).

La ampliación de la relación carbono/nitrógeno en los árboles debido a elevados niveles de CO₂ podría aumentar el consumo de follaje de los insectos, como demostrado en estudios de laboratorio. Por ejemplo, Lincoln et al (1984) demostraron que la velocidad de alimentación de las larvas de lepidópteros aumentó

contemporáneamente con los aumentos del CO₂ atmosférico. Los defoliadores de bosques, como el gusano de la yema, *Choristoneura* sp., en Norte América y la oruga del pino, *Dendrolimus* sp., en Asia, pueden ser afectados de la misma manera. Como resultado, las epidemias podrían causar una defoliación más grave. Más recientemente Lincoln (1993) ha encontrado reacciones similares en la alimentación de otras larvas, que representaban otro grupo de insectos que se alimentaban de follaje, las moscas de sierra, *Neodiprion* sp. (Hymenoptera: Diprionidae).

Una mayor frecuencia de epidemias de insectos y enfermedades, debido al estrés de los árboles, asociado con el cambio climático, producirá mayores niveles de productos combustible en los bosques, aumentando el peligro de incendios. En los bosques de coníferas del oeste de Norte América, las últimas epidemias de distintas especies de perforadores de corteza (familia Scolytidae) han aumentado el volumen de combustibles inflamables hasta niveles peligrosos. Esto causó grandes incendios, inclusive el de 1988 del Parque Nacional de Yellowstone en EE.UU. Se piensa que estas epidemias estén relacionadas con la eliminación de los incendios y no con el cambio climático; sin embargo, nos sirven como ejemplo de lo que podría suceder a causa del previsto cambio climático (Hessburg et al 1994, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos 1994).

Algunos de los potenciales efectos **positivos** son:

- * Los altos índices de crecimiento, que han sido pronosticados por algunos científicos debido al aumento de las temperaturas y a los altos niveles de CO₂, podrían permitir a los bosques resistir el mayor número de insectos y de daños causados por las enfermedades, sin que sean afectados el crecimiento y la productividad.
- * El mayor vigor de los árboles y de los bosques que crecen con niveles elevados de CO₂, podría volverlos más resistentes a los ataques de insectos y enfermedades.
- * Los elevados niveles de CO podrían traer beneficios para la salud de las plantas y para su productividad, alterando su morfología y fisiología en perjuicio de los organismos patológicos.

Se piensa que, debido a su diversidad innata, el riesgo de epidemias de insectos destructivos y de enfermedades en los bosques tropicales sea mínimo si comparados con los bosques templados y boreales. Aunque, esto pueda ser cierto para los bosques tropicales de origen natural, hay que recordar que muchos países tropicales, para satisfacer la necesidad de productos madereros, efectúan plantaciones de una sola especie, tratándose a menudo de especies exóticas de rápido crecimiento. Muchas de estas plantaciones son realizadas con material que tiene una base genética limitada y que frecuentemente no son capaces de adaptarse a condiciones medio ambientales cambiantes. En 1990, se calculaban 30.7 millones de ha de plantaciones forestales en 90 países tropicales (FAO 1993). Un 23% eran de *Eucalyptus* y un 10% de diversas especies de *Pinus*, dos especies que están sujetas al ataque de plagas, muchas de éstas introducidas

accidentalmente. Hutacharern *et al.* (1990) han realizado un análisis excelente sobre plagas de insectos forestales y enfermedades de las plantaciones de la región de Asia y del Pacífico. Este análisis indica claramente que en los bosques tropicales bajo ordenación, hay una gran cantidad de plagas de insectos y enfermedades que podrían reaccionar ante cambios del clima.

Cuadro 6.2. La muerte regresiva del *Juniperus procera* en Kenia - ¿un ejemplo de los efectos del cambio climático regional?

La muerte regresiva y la mortalidad del *Juniperus procera*, un componente importante de los bosques de las tierras altas de Kenia, está ocurriendo por lo menos desde principios de los años 80. En algunos lugares más de un 90% de los árboles han sido afectados. El mayor índice de muerte regresiva y de mortalidad corresponde a los bosques que se encuentran en lugares más áridos y bajos. Los rodales que se encuentran en alturas elevadas, que reciben más lluvia y crecen en suelos mejores, parecen estar en buenas condiciones de salud.

No se conocen los factores responsables de esta situación. Una hipótesis es que los árboles hayan sido sometidos a estrés debido a un calentamiento regional a largo plazo y a una tendencia de aridez que ha afectado los sitios bajos, a tal punto que éstos ya no son más apropiados para dichas especies (Ciesla *et al.* 1994). Como resultado, la distribución en altura de esta especie podría en el futuro ser más limitada.

Capítulo 7
AYUDANDO A LOS BOSQUES A
ADAPTARSE AL CAMBIO CLIMÁTICO

37. ¿CÓMO PODEMOS RESPONDER AL PREVISTO CAMBIO CLIMÁTICO?

Existen dos modos para responder al previsto cambio climático: **adaptación** y **mitigación**. Estos métodos se aplican a todos los sectores que son afectados por el cambio climático.

La **ADAPTACIÓN** concierne las respuestas a los **efectos** del cambio climático. Se refiere a cualquier reajuste pasivo, reactivo, anticipador que pueda ser adoptado para mejorar las consecuencias efectivas o esperadas adversas del cambio climático. La adaptación significa también aventajarse de cualquier efecto beneficioso, como por ejemplo, estaciones de crecimiento más largas que podrían permitir plantar algunos cultivos a mayores latitudes.

Muchas técnicas de adaptación son útiles pese al cambio climático porque la variabilidad climática y los fenómenos climáticos extremos actuales, como las sequías, fuertes tempestades e inundaciones, ya causan de por sí muchos daños en gran parte del mundo. Adaptarse a dichos fenómenos puede ayudar en el corto plazo a reducir los daños, cualquiera sean los cambios climáticos a largo plazo.

La **MITIGACIÓN** o “limitación” intenta dirigir las **causas** de los cambios climáticos. Esto se logra gracias a medidas que impiden o retrasan el aumento de los niveles atmosféricos de los gases de efecto invernadero, limitando las emisiones actuales y futuras de sus fuentes y fortaleciendo los sumideros de dichos gases.

Tanto las estrategias de adaptación como las de mitigación deberían ser consideradas en una forma integrada cuando se elaboran respuestas para enfrentar el cambio climático. Este capítulo sugiere medidas para ayudar a los bosques a adaptarse al cambio climático, mientras que el capítulo 8 se centra en las opciones para mitigar dicho cambio.

38. *¿EXISTEN PROCESOS NATURALES QUE PUEDEN AYUDAR A LOS ÁRBOLES Y A LOS BOSQUES A ADAPTARSE A UN CLIMA CAMBIANTE?*

Algunas poblaciones de árboles, debido a su variabilidad genética, podrán sobrevivir a los efectos del cambio climático ajustándose a las nuevas condiciones a través de la aclimatación, más bien que a través de la migración hacia nuevas zonas con climas similares a los de sus habitat naturales. Otro posible mecanismo de adaptación de éstos es que ciertos rasgos fisiológicos y del desarrollo experimentarán cambios permanentes como resultado de la evolución.

En muchos casos, las fronteras de distribución de las especies puede ser consecuencia de factores que operan adicionalmente a los del clima. Uno de estos factores es la competencia. En el hemisferio norte, los límites meridionales o los límites de las bajas alturas de las distribuciones de muchas especies están determinados por relaciones de rivalidad con las especies del sur o con las que se encuentran en las bajas alturas. Es por esto que en muchas situaciones no competitivas, las especies septentrionales crecen bastante bien en zonas mucho más al sur que en las propias distribuciones naturales. Si el clima cambia, estas especies podrán continuar en sus ubicaciones originales si los competidores más fuertes no las invaden inmediatamente.

A menudo, las áreas de reproducción y de siembra son más sensibles a los cambios climáticos que la supervivencia de los

individuos adultos. En estos casos, las plantas adultas pueden sobrevivir por mucho más tiempo en una área después que la regeneración haya desaparecido.

39. ¿CÓMO PUEDE LA ORDENACIÓN FORESTAL AYUDAR A LOS BOSQUES A ADAPTARSE AL CAMBIO CLIMÁTICO?

Las técnicas forestales apropiadas, incluyendo el mantenimiento de niveles óptimos de existencias y la selección de árboles que mejor se adaptan a los sitios existentes, deberían asegurar que los bosques se mantengan vigorosos y relativamente libres del estrés relacionado al sitio y a los rodales. Estas técnicas deberían ayudar a los bosques a adaptarse al cambio climático.

Las técnicas que podrían ayudar a los bosques a adaptarse a un clima cambiante incluyen:

- * Turnos más cortos que reduzcan la probabilidad de estrés relacionado con la senescencia y con el peligro de daños causados por plagas y enfermedades.
- * Control de la competencia para obtener humedad, luz y los nutrientes disponibles del suelo.
- * Selección de las especies y procedencias que mejor se adaptan a las condiciones actuales del sitio.
- * Programa oportuno de aclareos para potenciar el crecimiento y aumentar la resistencia ~~contra~~ los daños provocados por fuertes vientos, insectos y enfermedades.

Programas para el mejoramiento de las especies arbóreas con el fin de establecer plantaciones a partir de una amplia base genética caracterizada por altos índices de crecimiento, mejor forma y adaptabilidad a una vasta gama de condiciones de sitio.

Protección de los efectos destructivos de los incendios, plagas y enfermedades (ver preguntas 35 y 36).

Inventarios y examen periódico de los rodales para definir las bases técnicas silviculturales y la programación de las cosechas.

40. ¿QUÉ SE PUEDE HACER PARA AYUDAR A LOS BOSQUES A ADAPTARSE AL MAYOR PELIGRO DE INCENDIOS Y/O A LAS EPIDEMIAS DE INSECTOS Y ENFERMEDADES QUE PUEDEN SER CAUSADOS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO?

Pese a las consideraciones sobre el cambio climático, una ordenación forestal centrada en la salud de los bosques debería ser una parte integrante de *todas* las actividades de ordenación forestal. Sin embargo, en el marco de los planes estratégicos para el desarrollo del sector forestal, incluso en aquellos planes financiados por las actividades de asistencia internacional, tales como el Programa de Acción Forestal en los Trópicos (PAFT), será aún más necesario en el futuro considerar los posibles efectos del cambio climático en lo que se refiere a los incendios, insectos y enfermedades.

Los programas que tienen como objetivo proteger la salud de los bosques deberían incluir una componente de supervisión, criterios decisionales para el manejo de los incendios, plagas y enfermedades basados en pautas ecológicas, económicas y

sociales apropiadas y una serie de tácticas que no afecten al medio ambiente (biológicas, químicas, culturales, mecánicas y reguladoras) y que puedan ser utilizadas en sistemas para la ordenación de los fuegos forestales y para el manejo integrado de plagas (MIP), con el fin de obstaculizar el desencadenamiento de grandes incendios, epidemias de plagas y enfermedades, y para proporcionar una respuesta eficaz para dichos acontecimientos.

Algunas estrategias y tácticas que hay que considerar en la integración del cambio climático en el desarrollo de los programas de ordenación de los fuegos forestales, de los insectos y de las enfermedades, incluyen:

- * Aumentar la capacidad de los países en desarrollo de ejercer liderazgo en los programas de ordenación de los fuegos forestales, incluyendo la planificación de la prevención y de las medidas previas de supresión y de supresión en sí, así como en el mejoramiento de la salud de los bosques a través de la silvicultura y del manejo integrado de plagas.
- * Poner mayor énfasis en conciliar las especies arbóreas y sus procedencias con las áreas de los programas de plantaciones forestales. Evitar la utilización de rodales con una base genética limitada que podrían no tener la capacidad intrínseca para adaptarse a condiciones climáticas cambiantes.
- * Disminuir la dependencia de una o dos especies en los programas de forestación y de reforestación. En cambio, cuando posible, incluir un número mixto de especies que se adapten bien a los sitios locales y a las condiciones climáticas y que respondan a

las necesidades nacionales de productos y servicios forestales.

Establecer reservas forestales *in situ* y *ex situ* de especies forestales claves, para asegurar la disponibilidad de un banco genético con suficiente diversidad para los programas de mejoramiento de los árboles cuyo objetivo es el de desarrollar variedades capaces de adaptarse al cambio climático.

Acelerar los programas para la recuperación de maderas y para la ordenación de los productos combustibles con el fin de reducir el riesgo de incendios en los bosques, especialmente en los que han sido afectados por altos niveles de plagas, de daños causados por las enfermedades o por la decadencia forestal.

Idear programas para el control de insectos y enfermedades que sean capaces de detectar aumentos en la aparición y en la intensidad de la decadencia de los bosques, en la actividad de nuevas plagas y enfermedades (naturales o introducidas) además de las que históricamente causaron pérdidas. Los sistemas de supervisión también deberían ser capaces de detectar cambios en la biología, ecología y distribución natural de las especies que causan las plagas, incluyendo el registro de factores claves de sus vidas, número de generaciones, modelos de alimentación e interacciones plaga/huésped.

Comenzar programas para investigar los efectos del cambio climático a largo plazo en la biología y en las interacciones entre plaga-enfermedad/huésped de las especies de plagas

tradicionales. Identificar, también, aquellas especies que tienen el potencial para volverse plagas tras el cambio climáticos. Integrar lo más pronto posible las nuevas informaciones procedentes de las investigaciones en los programas operativos.

- * Realizar estudios sobre los efectos de los incendios, insectos y enfermedades sobre la biodiversidad, en términos de especies colonizadoras, descendientes y clímax. Determinar el grado de "perturbación" en el proceso de auto recuperación de los sistemas vegetales debido al cambio climático. Algunos ejemplos son: la incapacidad de los bosques para volver a ocupar las áreas quemadas o taladas, o una descendencia "detenida" donde la vegetación formada por matas o lianas no es más sustituida por el bosque.

- * Comenzar estudios para determinar los efectos de las anomalías climáticas en la estabilidad de los bosques.

Capítulo 8

**EL PAPEL DE LOS BOSQUES Y DE LA
SILVICULTURA EN LA MITIGACIÓN
DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

**41. ¿QUÉ POSIBILIDADES OFRECEN LOS BOSQUES Y LA
ORDENACIÓN FORESTAL PARA MITIGAR LOS
EFECTOS DEL PREVISTO CAMBIO CLIMÁTICO?**

Los bosques ofrecen oportunidades para mitigar en parte los efectos previstos del cambio climático. Esto se puede conseguir mediante tres enfoques:

Reducir las fuentes de los gases de efecto invernadero.

Mantener los sumideros actuales de los gases de efecto invernadero.

Aumentar los sumideros de los gases de invernadero.

Las acciones específicas de cada uno de estos enfoques están descritas en los apartados 8A - 8C de este capítulo.

Es necesario considerar dos factores cuando se elaboran estrategias para el sector forestal y programas para mitigar los efectos del cambio climático:

- * Los árboles y los bosques son solo sumideros **temporales** de carbono. Cuando los árboles se cortan, se queman o se mueren, una parte del carbono contenido es liberado nuevamente a la atmósfera. Por lo tanto, las políticas y las estrategias forestales deberían tener el objetivo de **prolongar** la capacidad de los árboles y de los

bosques de contener carbono por el mayor tiempo posible.

Cualquier medida adoptada en el sector forestal concerniente la mitigación debe ser emprendida junto a medidas similares en **otros sectores** que contribuyen a aumentar considerablemente los gases de efecto invernadero en la atmósfera, como la industria, la agricultura, los transportes y la generación de energía.

42. ¿CUÁLES RASGOS DEBERÍAN CARACTERIZAR LAS MEDIDAS USADAS PARA MITIGAR LOS POSIBLES EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO?

Cualquiera sean las medidas usadas para mitigar los efectos previstos del cambio climático, éstas deberían tener las siguientes características:

Ecológicamente sostenibles - Las medidas deberían proveer a las necesidades de largo plazo tanto para las presentes como para las futuras generaciones.

Económicamente viables - Las medidas propuestas deberían inicialmente tener bajos costos y ser socialmente integrativas, basándose en las necesidades locales, en los estilos de vida y en las tradiciones.

Tecnológicamente sencillas - Las medidas deberían poder ser ejecutadas con éxito bajo diversas condiciones, con un nivel mínimo de equipos especializados, de capacitación o procedimientos.

Adaptables - Deberían ser lo suficientemente flexibles para adaptarse a condiciones económicas, políticas, sociales, ecológicas y climáticas cambiantes.

Socialmente aceptables - Las medidas propuestas deberían tener beneficios inmediatos y claros, especialmente para la población local.

43. ¿QUE INVESTIGACIONES ADICIONALES SON NECESARIAS PARA ENTENDER TOTALMENTE LOS EFECTOS POTENCIALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS ÁRBOLES Y EN LOS BOSQUES Y PARA DESARROLLAR TÁCTICAS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN?

Hay muchas dudas asociadas a todos los aspectos del problema del cambio climático global. Por lo que concierne los bosques y la silvicultura hay dudas respecto al impacto del posible cambio climático en los ecosistemas forestales, a la adaptación de los bosques al cambio climático y a la capacidad de los bosques de mitigar los previstos efectos adversos del cambio climático.

Durante una Conferencia Ministerial sobre la protección de los bosques en Europa, que tuvo lugar en Helsinki (Finlandia) en 1993, los países europeos y la Unión Europea concordaron en realizar un programa de cooperación y de investigación intensificada sobre la silvicultura y el cambio climático. Este programa proporciona un modelo completo para los esfuerzos nacionales y/o regionales y recomienda las siguientes líneas de investigación:

- * Obtener una mayor comprensión de las conexiones existentes entre el cambio climático y los ecosistemas forestales, incluyendo la respuesta de los ecosistemas al sistema climático.
- * Cuantificar el papel de los bosques, de los suelos forestales y de los turbales como reservas, sumideros y fuentes de carbono, y

comprender el rol de los bosques en el ciclo global del carbono. Las investigaciones en este campo podrían prever el desarrollo de metodologías comunes para la investigación, para los inventarios nacionales y regionales y la creación y el mantenimiento de bases de datos sobre las reservas, los sumideros y las fuentes de carbono en los ecosistemas terrestres.

Identificar la variabilidad genética asociada con las especies de árboles importantes para la región y su capacidad de responder a los cambios climáticos, así como a mayores concentraciones de dióxido de carbono y el grado y ritmo del proceso evolutivo y de adaptación de las mismas.

Determinar el equilibrio dinámico de las relaciones huésped-parásito en los nuevos ambientes climáticos.

Estudiar los cambios en los procesos de formación del suelo, incluyendo la mineralización de la materia orgánica y la lixiviación, en respuesta a los cambios climáticos.

Desarrollar modelos de ecosistemas basados en un proceso de predicción aplicable a escala regional, que podrían ser utilizados para anticipar cambios en el clima, las interacciones con la contaminación atmosférica, los efectos en los ecosistemas forestales, los flujos de gases de efecto invernadero y los efectos en los bosques y en la ordenación forestal.

- * Definir modos para alterar los sistemas de ordenación forestal con el fin de optimizar la adaptación al cambio climático, asegurar la salud y las funciones de los bosques y para aumentar la absorción y el almacenamiento de carbono.

También ha sido diseñado un plan conceptual para la investigación sobre bosque/interacciones atmosféricas por el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos 1988).

44. ¿EXISTEN ACUERDOS INTERNACIONALES QUE FOMENTEN EL DESARROLLO Y LA PROTECCIÓN DE LOS BOSQUES PARA MEJORAR SUS CAPACIDADES DE MITIGAR LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO?

Se han establecido muchos instrumentos y objetivos internacionales que apoyan el desarrollo forestal a grande escala como un medio para mitigar los efectos de los cambios climáticos pronosticados.

Uno de los primeros acuerdos internacionales sobre el cambio climático que se refería directamente a la silvicultura fue la Declaración de Nordwijk sobre el Cambio Climático, formulada en 1989. Esta declaración definió como objetivo el crecimiento neto del área forestal de 12 millones ha/año para inicios del próximo siglo. En un sucesivo taller que tuvo lugar Bangkok (Tailandia) en 1991, se concluyó que las posibilidades de alcanzar dicho objetivo eran muy limitadas (IPCC 1992).

Durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), que tuvo lugar en Rio de Janeiro (Brasil), se suscribió una Convención Marco sobre el Cambio Climático para controlar y reducir las futuras emisiones

de los gases de efecto invernadero. Esta convención fue ratificada por los 100 países signatarios en diciembre de 1994.

En la CNUMAD fue adoptada una declaración autorizada, sin fuerza jurídica obligatoria llamada "Principios para un Consenso Mundial respecto de la Ordenación, la Conservación y el Desarrollo Sostenible de los Bosques de todo tipo". Esta declaración ponía énfasis en que los suelos forestales deberían ser manejados de modo sostenible para responder a las necesidades sociales, económicas, ecológicas, culturales y a las necesidades espirituales del hombre del presente y de las generaciones futuras. Estos principios y el Programa 21, un programa medio ambiental para el siglo XXI, también aprobado en la CNUMAD, proponen medidas de conservación forestal para conservar los depósitos de carbono y para aumentar la seguridad de los mismos.

Estas declaraciones deben ser transformadas en programas de acción a nivel nacional y comunitario para poder ser ejecutadas. Varios países, inclusive China, Dinamarca, Finlandia, Francia e Italia han desarrollado planes de acción estratégicos en el marco de estos acuerdos internacionales. Por ejemplo, Francia ha establecido el objetivo de aumentar de 30.000 ha al año la forestación en los próximos 50 años y de promover utilidades más duraderas de la madera (por ej. la de construcción) (Ministère de l'Agriculture et de la Pêche 1994).

Los organismos internacionales, como la FAO, pueden suministrar una vasta gama de asistencia técnica y de capacitación en lo que concierne a los cambios climáticos y a la identificación de las oportunidades para que los bosques mitiguen los efectos de dichos cambios.

45. ¿CÓMO PUEDE ASISTIR EL PROGRAMA DE ACCIÓN FORESTAL EN LOS TRÓPICOS (PAFT) EN EL DESARROLLO DE PROGRAMAS FORESTALES PARA AYUDAR A MITIGAR LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO?

El PAFT tiene como objetivo asistir a los países en la conservación y en el uso sostenible de los recursos de los bosques tropicales. Este plan es el resultado de los esfuerzos paralelos realizados por la FAO, el Banco Mundial, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y el Instituto Mundial sobre Recursos. El Programa fue formalizado en 1987 y consolidado en 1991. La dirección del programa es responsabilidad de la FAO.

El PAFT es un modelo nacional para abordar la planificación y la ordenación de los recursos forestales. Se trata de un proceso multidisciplinario e intersectorial que implica un alto nivel de participación de la población local y de las organizaciones no gubernamentales. El PAFT comienza con la formulación o la revisión de las políticas y estrategias forestales de largo plazo y la formulación de un plan forestal nacional. Este proceso puede facilitar la integración de las consideraciones acerca del cambio climático en la formulación y ejecución de políticas, estrategias y planes forestales de largo alcance.

8A

**REDUCIR LAS FUENTES DE LOS GASES DE EFECTO
INVERNADERO**

**46. ¿QUÉ MEDIDAS SE PUEDEN ADOPTAR PARA
REDUCIR EL RITMO ACTUAL DE LA DEFORESTACIÓN
TROPICAL Y CÓMO ÉSTA AFECTA LA EMISIÓN DE
GASES DE EFECTO INVERNADERO?**

Para detener el ritmo actual de deforestación son necesarias medidas que **reduzcan las presiones** existentes para convertir las tierras forestales para otros usos y **proteger** los bosques que quedan para que puedan ser manejados según bases sostenibles. Gran parte de la deforestación se debe a la expansión de la agricultura. Esta es una consecuencia directa de la expansión de la población humana y del desarrollo económico. Por lo tanto, los programas cuyo objetivo es reducir la deforestación deben ser acompañados por esfuerzos para aumentar la productividad y la sostenibilidad de las tierras agrícolas existentes, de modo que la producción mantenga el paso con el aumento de la demanda. En muchas ocasiones la deforestación ha sido considerada exclusivamente un problema del sector forestal, aunque en realidad sea un problema multisectorial.

Según algunos cálculos el 80% del desmonte forestal para la agricultura nómada o sedentaria puede ser eliminado por sistemas de cultivo sostenibles sustitutivos (Lashof y Tirpak 1989). Estos mismos autores sugieren las siguientes medidas para reducir la expansión de la agricultura en los bosques tropicales:

- * Introducir cultivos mixtos, sistemas de ordenación y de plantaciones y mejorar las estirpes genéticas de los cultivos para aumentar la productividad por unidad de área en las tierras

agrícolas existentes. En algunos casos será necesario hacer inversiones en fertilizantes, sistemas de irrigación y capitales (sistemas de altos input) para conseguir la intensificación y sostenibilidad agrícola adecuada.

- * Realizar investigaciones acerca de los sistemas de cultivo con bajos input externos cuando los altos input no son posibles.
- * Crear oportunidades para aumentar los cultivos comerciales y los cultivos de subsistencia de tal modo que los agricultores puedan obtener el dinero necesario para invertir en fertilizantes, equipos de irrigación y otras tecnologías.
- * Intensificar la ordenación de las tierras de pastoreo existentes par aumentar la productividad de las áreas a través de la introducción de estrategias optimizadas de forraje, fertilización, mecanización y un mejor manejo del ganado.
- * Concentrar el desarrollo de la agricultura en áreas con suelos no forestales adecuados, como las sabanas, praderas y tierras cultivadas subutilizadas.

Las oportunidades para ejecutar estas y otras opciones deberían ser determinadas a través del desarrollo de planes estratégicos de ordenación de los recursos y de la suelos a nivel nacional.

47. ¿QUÉ SE PUEDE HACER PARA REDUCIR LA FRECUENCIA Y LA CANTIDAD DE BOSQUES Y DE TERRENO ARBOLADOS DE LAS SABANAS CONSUMIDOS POR LA QUEMA DE BIOMASA?

La mayoría de los incendios que ocurren en las sabanas y en las tierras arboladas de los trópicos son **dirigidos** o intencionales. Éstos son causados por la población local que los utiliza para limpiar la tierra, eliminar los residuos agrícolas, mejorar la calidad del forraje para el ganado o para conducir la caza de animales. Estas prácticas están basadas en tradiciones que frecuentemente tienen miles de años. A menos que en el próximo futuro no se verifiquen grandes cambios en la ordenación agrícola y del terreno, estas prácticas y las respectivas emisiones de carbono continuarán en el futuro.

Frecuentemente los fuegos controlados escapan del control y queman áreas que no se querían quemar. El número de incendios no intencionales y las áreas quemadas por los **fuegos incontrolados** se pueden reducir mediante la ejecución de programas **integrados** de gestión de los incendios. Si bien el beneficio primario de estos programas es la protección de los bosques y de otros recursos de las tierras vírgenes, éstos a su vez reducirán también las emisiones de carbono.

Los elementos de un programa integrado de gestión de los incendios incluyen: la **prevención** de incendios, la **planificación para las medidas previas de supresión** (detección del fuego, evaluación del peligro de incendios basándose en conocimiento de las épocas propicias para los incendios y en las condiciones de los combustibles (Fig. 8.1), capacitación y equipamiento de las brigadas anti-incendio) y **supresión**, la verdadera lucha contra los incendios de los bosques y de las tierras arboladas.

La prevención debería dirigirse a los grupos específicos de personas que causan incendios. Por ejemplo, en Indonesia, las



Figura 8.1 - Un ingeniero forestal en la Península Mexicana de Yucatán evalúa los productos combustibles forestales. Conocer las condiciones de los combustibles es un factor importante en la planificación de los programas de manejo de incendios.

tierras arboladas de varios parques nacionales corren mucho peligro de incendio debido a las quemas con fines agrícolas de los agricultores vecinos. Este fue uno de los grupos "objetivo" identificados como parte de un proyecto financiado por el Programa de Cooperación Técnica (PCT) de la FAO en el ámbito de la gestión de los incendios incontrolados. El siguiente programa de prevención de incendios se centró específicamente en este grupo. Otro factor clave de la prevención es la ordenación de los combustibles, que incluye el establecimiento de líneas corta-incendios en ubicaciones estratégicas y el uso periódico de la quema dirigida para reducir el volumen de productos combustibles. Un procedimiento relativamente sencillo, como enseñar a los agricultores cómo construir líneas corta-incendios alrededor de los prados o campos que se tienen que quemar, puede ayudar a evitar que los fuegos dirigidos se escapen del control y quemen los bosques y las tierras arboladas de las cercanías.

Cuando se diseñan programas de gestión de fuegos incontrolados, es necesario comprender el papel ecológico que juegan los fuegos naturales en las áreas que deben ser protegidas. En muchos ecosistemas semi áridos el fuego tiene un rol importante en la sucesión de las plantas. La eliminación del fuego puede hacer que se establezca más biomasa vegetal de la que el sitio es capaz de sustentar. Sucesivamente, esta vegetación se vuelve sensible a los ataques de los insectos, enfermedades y otros agentes dañinos, resultando en una acumulación excesiva de productos combustibles. Por consiguiente, cuando hay un incendio después de un largo período sin fuego, éste arde con más intensidad y puede causar mayores daños (Hessburg *et al.*, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos 1994).

48. ¿CÓMO SE PUEDEN REDUCIR LAS EMISIONES DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO AUMENTANDO LA EFICIENCIA DE LA QUEMA DE LEÑA Y DE OTROS BIOCOMBUSTIBLES?

La leña y otros biocombustibles, incluyendo carbón vegetal, residuos de cultivos, estiércol de animales y otras formas de biomasa, se usan a nivel doméstico en muchas partes del mundo para cocinar, para la calefacción y para el procesamiento de materias primas (Fig. 8.2). Hoy en día los combustibles biológicos son la cuarta fuente de energía más importante de mundo, mientras que sólo el consumo de leña y de carbón vegetal representan el 10% del consumo total de energía mundial. En los países en desarrollo la biomasa es la fuente dominante de energía. Por ejemplo, en Etiopía, los biocombustibles equivalen a más del 93% de la provisión de energía nacional (Karekezi 1994). Se calcula que la utilización de biocombustibles domésticos contribuye entre un 2 a un 7% a las emisiones anuales procedentes de fuentes humanas de los gases de efecto invernadero. En muchos países en desarrollo también se utilizan leña y otros biocombustibles para abastecer pequeñas y medias industrias rurales, tales como los hornos de carbón, hornos de panadería, hornos de ladrillo y las fábricas para procesar tabaco y café.

En la mayoría de los casos, los biocombustibles domésticos son convertidos en energía con métodos ineficientes que producen un bajo volumen de energía. Pero, a su vez, estos métodos producen un gran volumen de gases de efecto invernadero por unidad de energía producida. La utilización de sistemas de combustión más eficaces ofrece la oportunidad de **aumentar** el volumen de energía y **reducir** el volumen de gases de efecto invernadero por unidad. De este modo, dichos sistemas proporcionan un beneficio adicional para reducir la presión actual sobre las reservas de biocombustibles. Esto es



Figura 8.2 - Leña transportada desde una plantación forestal a un pueblo en Indonesia. La población rural en los países en desarrollo dependen en gran parte de la leña para cocinar y para la calefacción. Una utilización más eficaz de los biocombustibles proporcionaría otra oportunidad para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

importante, sobre todo, en muchas regiones semi-áridas donde la rápida expansión de la población está causando presiones cada vez mayores en las reservas de biocombustibles, ocasionando deforestación y desertificación.

La introducción de hornos para cocinar y de procesos industriales más eficientes podría reducir la necesidad de leña en un 25-70% con un costo de inversión reducido y asimismo puede contribuir a reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero. Además, la utilización de una calidad mejor de biomasa en términos de dimensiones, contenido de humedad y de valor calorífico, si disponible, puede contribuir a la eficiencia de los sistemas de calefacción y a disminuir las emisiones de los gases de efecto invernadero. Para obtener el máximo de beneficio de las tecnologías energéticas eficaces, su introducción debe ser acompañada por una capacitación adecuada para su utilización, como en los programas desarrollados por las ONG, tales como la Foundation for Woodstove Dissemination.

49. ¿CÓMO LA UTILIZACIÓN DE LA LEÑA Y OTROS "BIOCOMBUSTIBLES" EN LUGAR DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES PUEDE AYUDAR A REDUCIR LOS NIVELES ATMOSFÉRICOS DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO?

La sustitución de los combustibles fósiles con la biomasa como una moderna fuente de energía tiene el potencial de cambiar completamente las implicaciones del calentamiento global debido al aumento del consumo energético, especialmente en los países tropicales. Existen posibilidades de usar grandes cantidades de residuos agrícolas y forestales que si no serían desperdiciados. Hay, también, posibilidades de crear cultivos de biomasa, sobre todo para la producción de energía. Si se producen biocombustibles de modo eficaz, éstos podrían

satisfacer una considerable proporción de la demanda energética comercial en las próximas décadas.

Los beneficios de la utilización de la bioenergía van más allá de la sustitución de las fuentes de combustibles. Los biocombustibles no sólo pueden ayudar a cerrar el ciclo de CO₂ y a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que las plantaciones de biomasa, situadas en las tierras en barbecho, aumentarían las reservas de carbono. Además, la sustitución de la biomasa producida domésticamente podría también contribuir a mejorar la balanza de pagos de energía de los países pobres. Otros beneficios son nuevas oportunidades de trabajo en las áreas rurales y la descentralización de los recursos energéticos.

La oportunidad más obvia para usar la biomasa como energía la dan los desperdicios agrícolas e industriales. En Indonesia, por ejemplo, grandes cantidades de restos de madera derivados de la explotación forestal y de las operaciones de procesamiento de la madera son amontonados y quemados, usados para terraplenados o descargados en los ríos u océanos. Estos materiales son actualmente considerados un problema de disposición de desechos más bien que una fuente de energía. Se calcula que en Indonesia los restos de madera de los aserraderos y de las fábricas de contrachapados serían suficientes para producir 1.000 megavatios de electricidad. Esto equivale a un 20-30% de la energía que actualmente se obtiene de los combustibles fósiles. La caña de azúcar y los desperdicios de los arrozales ofrecen oportunidades parecidas. También se pueden incorporar algunos desperdicios agrícolas e industriales al suelo para aumentar el almacenamiento de carbono.

El potencial de utilización de la biomasa va más allá de la utilización de los desperdicios. Las plantaciones forestales tropicales han registrado una producción equivalente a más de 15 toneladas de carbono por ha al año. Aunque supongamos

índices de crecimientos bajos, si estas plantaciones se establecen en grandes áreas podrían contribuir de modo significativo tanto en lo que se refiere a la provisión de energía como al almacenamiento de carbono temporáneo (Trexler et al. 1992).

50. ¿CÓMO UNA EXPLOTACIÓN MADERERA MÁS EFICIENTE PUEDE REDUCIR LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE LOS BOSQUES?

Las operaciones incontroladas de explotación maderera causan una perturbación excesiva del suelo, residuos de las talas forestales y daño a los árboles residuales. Esto causa el aumento de las emisiones de CO₂ y de otros gases que causan el efecto invernadero y disminuyen la capacidad de los bosques residuales de secuestrar carbono (Pinard 1994). La explotación maderera es un proceso perjudicial, no importa cuán bien planificada y cuidadosamente sea efectuada. No obstante, existen planes y prácticas operacionales que pueden ser usadas para reducir las perturbaciones a los procesos forestales.

Una explotación maderera correcta comienza con el desarrollo de planes de ordenación y explotación forestal. Los planes de ordenación forestal incluyen mapas y descripciones de las áreas que van a ser taladas y protegidas, información contractual y otras líneas de política generales. Los planes de explotación describen detalladamente los operación de tala.

Gran parte de las reducciones de los daños causados por la explotación forestal, que son característicos de los bosques bien manejados, son el resultado de cuidadosos planes de tala (Dykstra y Heinrich 1992). Estos beneficios medio ambientales generalmente no son caros y en realidad pueden

aumentar la eficiencia de las operaciones de tala y reducir los costos correspondientes.

Varios procedimientos pueden reducir considerablemente los daños causados por la explotación forestal. Para reducir los daños de las cortas, se recomienda una corta precedente de las trepadoras cuando éstas unen los árboles. Asimismo, se recomienda una corta direccional en aquellas áreas que tienen que ser cortadas en modo selectivo. Esto reducirá los daños a los posibles futuros árboles y facilitará los métodos de extracción. La recogida de los troncos también merece consideración, ya que puede dañar los suelos y los árboles residuales. Los suelos expuestos son sujetos a la erosión y a la lixiviación de la materia orgánica, incluido el carbono. Los daños causados por el proceso de recogida pueden reducirse limitando los bulldozers a los caminos de desembosque designados y maximizando las distancias de arrastre de los troncos. Se pueden minimizar aún más los daños causados al suelo usando sistemas de recogida que transporten los troncos suspendidos en el aire (por ej. cables, helicópteros, globos).

El aumento de la utilización de los árboles talados produciría una reducción del área total que necesita ser explotada. Un estudio de la FAO (Dykstra 1994) ha revelado que en muchos países tropicales menos de un 50% de la madera de los troncos principales de los árboles tropicales talados es utilizado. El resto del tronco principal y las otras partes del árbol son dejadas en el bosque como residuos de la explotación forestal. Como comparación, la fracción media de los troncos principales utilizada en los países industrializados es de más del 78%.

Las prácticas de explotación sucesivas, tales como la remoción de los cruces de los arroyos que impiden el flujo del agua, la apropiada disposición de los restos de corta y los tratamientos para promover el crecimiento de la vegetación en áreas

deforestadas, ayudarán a promover la recuperación de las áreas explotadas.

Un ejemplo de los beneficios de mejores técnicas de explotación maderera nos es dado por un estudio hecho sobre los bosques de dipterocarpus de Sabah, Malasia (Pinard 1994). Generalmente, los árboles de más de 60 cm de diámetro a la altura del pecho son talados y transportados a los patios con bulldozeros. Aproximadamente 8 sobre 15 árboles por ha son removidos de esta manera y más de un 75% de los árboles residuales son dañados por la explotación forestal. Antes de la explotación estos bosques pueden contener más de 330 tC/ha. La operación de corta remueve casi 80 tC/ha. Con la utilización de técnicas de corta controlada se ha demostrado que, si el daño a los rodales residuales pueden ser reducidos de un 40% a un 20%, la cantidad de carbono adicional que queda en el bosque residual, después de 10 años, podría ser más de 65 t/ha (Fig. 8.3).

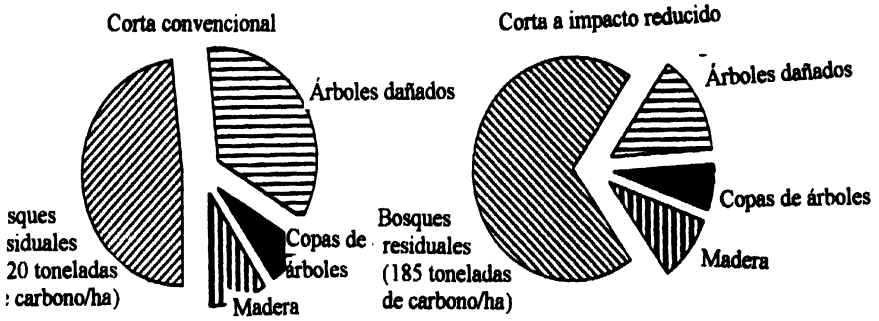


Figura 8.3 - Comparación del almacenamiento de carbono residual entre la corta convencional y a impacto reducido en Malasia (Fuente: Pinard 1994).

8B

MANTENER LOS ACTUALES SUMIDEROS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO**51. ¿CÓMO PUEDEN LA ORDENACIÓN Y LA CONSERVACIÓN DE LOS BOSQUES NATURALES AUMENTAR LA CAPACIDAD DE LOS MISMOS DE FIJAR Y ALMACENAR CARBONO?**

Una ordenación más eficaz de los bosques naturales puede aumentar la productividad y la capacidad de los mismos de almacenar carbono, a través de un crecimiento más rápido, del mantenimiento de óptimos niveles de existencias y de la protección contra los incendios, plagas y enfermedades (ver pregunta 40). En el mundo existen muchas oportunidades para mejorar la ordenación de los bosques naturales. En los trópicos, por ejemplo, se calcula que 137 millones de ha de bosques cortados podrían beneficiarse de plantaciones de enriquecimiento y regeneración, ya que las prácticas de explotación selectiva han reducido la productividad a largo plazo (Grainger 1989) (ver pregunta 50).

El desarrollo y la expansión de los productos no madereros proporcionaría mayores incentivos para mantener y proteger a los bosques. Esto podría tener un efecto adicional deseable, es decir el aumento del almacenamiento de carbono. Algunos ejemplos de las posibilidades de desarrollar los productos no madereros incluyen la producción de látex, nueces, resina, hongos, caza y plantas medicinales (Fig. 8.4).

Establecer reservas y bosques protegidos, que estén excluidos de la explotación maderera, también ayudaría a mantener a los bosques naturales existentes como sumideros de carbono, con tal que éstos estén protegidos de los efectos perjudiciales del fuego, plagas y enfermedades. Los bosques todavía ofrecen



Figura 8.4 - Una vietnamita recoge resina en una plantación de pinos. Los productos forestales no madereros pueden proporcionar incentivos económicos para ordenar y proteger a los bosques y, de este modo, matener su capacidad de absorber y almacenar carbono.

muchas posibilidades para la ordenación de los recursos forestales no madereros. Estas posibilidades incluyen: proporcionar el hábitat para la fauna, establecer sitios donde especies raras o en peligro de extinción puedan ser protegidas, conservación *in situ* de los recursos genéticos, desarrollo de oportunidades de recreación al aire libre, protección de los recursos del suelo y del agua y recolección de productos no madereros como frutos silvestres y hongos. Probablemente este tipo de bosque tendrá una capacidad limitada de absorción de carbono, pero a menudo estos bosques comprenden grandes áreas de bosques adultos en los que la absorción de carbono es casi equivalente a la liberación del mismo.

52. ¿DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL ALMACENAMIENTO A LARGO PLAZO DE CARBONO, CUÁLES USOS DE LOS BOSQUES Y DE LOS PRODUCTOS FORESTALES SON MÁS DESEABLES?

Desde el punto de vista del almacenamiento del CO₂, los usos más deseables de los bosques y de los productos forestales son los que aumentan las edades de rotación y la producción de bienes que sean duraderos y persistentes. Esto permitirá que el carbono se deposite en el tejido leñoso por el mayor tiempo posible. Sin embargo, las necesidades locales y nacionales prevalecerán sobre las preocupaciones acerca de la absorción del carbono. Por lo tanto, desde el punto de vista socio-económico, los bosques deberían servir a cualquier utilización necesaria para satisfacer las necesidades locales y nacionales, siempre que estos usos sean sostenibles. Si los bosques satisfacen las necesidades de la población, se crearán, entonces, incentivos para ordenarlos de acuerdo a bases sostenibles y aumentará la probabilidad de los mismos de sobrevivir por largo tiempo y de obtener sus beneficios.

La transformación de los árboles en productos duraderos, como muebles o estructuras de madera, aumentará la absorción de carbono. El reciclaje de productos de papel reducirá la necesidad de talar árboles para la fabricación de nuevos productos de papel.

8C

**AUMENTAR LOS SUMIDEROS DE
LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO****53. ¿CUÁNTO CARBONO SE PUEDE FIJAR EN LA
MADERA Y EN EL SUELO POR HECTÁREA EN LAS
PLANTACIONES FORESTALES DE LAS ZONAS
BOREALES, TEMPLADAS Y TROPICALES?**

El porcentaje de fijación de carbono es una función de muchas variables, que incluye: especies de árboles, índices de crecimiento, longevidad, sitio, precipitación anual, duración de la estación de crecimiento, duración del turno de rotación, etc. El índice anual de fijación de carbono es más alto en las plantaciones jóvenes.

Schroeder (1991) nos hace un resumen de los índices de fijación para diversas especies propias de las plantaciones forestales tropicales, en base a un turno de rotación dado (Tabla 8.1).

Un factor decisivo en la forestación y en la reforestación es asociar las especies de árboles y su procedencia con los sitios en los que serán plantados. Además se deberían escoger especies que satisfagan los objetivos de la plantación y que sean aceptables para la población local. Si se cumplen estas condiciones y conjuntamente se realiza una ordenación y una protección apropiada, debería estar garantizándose un alto índice de supervivencia y un buen crecimiento de las plantaciones, y a su vez éstas satisfecerían los objetivos por los cuales fueron plantadas, incluyendo la fijación de carbono (Fig. 8.5).

TABLA 8.1
 PORCENTAJES DE FIJACIÓN DE CARBONO PARA DIVERSAS
 ESPECIES DE PLANTACIÓN FORESTAL TROPICAL
 (Fuente: Schroeder 1991)

Especies	Rotación (años)	Media del almacenamiento de carbono sobre la superficie (Toneladas C/ha)
<i>Pinus caribea</i>	15	59
<i>Leucaena</i> sp.	7-8	21-42
<i>Casuarina</i> sp.	10	21-55
<i>Pinus patula</i>	20	72
<i>Cupressus lusitanica</i>	20	57
<i>Acacia nilotica</i>	10-15	12-17

54. ¿CUÁNTA ÁREA ADICIONAL DE PLANTACIONES FORESTALES SERÍA NECESARIA PARA COMPENSAR TOTALMENTE EL AUMENTO ANUAL DE LOS NIVELES DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO PROCEDENTES DE TODAS LAS FUENTES?

Han sido realizado distintos estudios para calcular el área forestal necesaria para compensar las distintas emisiones de CO₂. Un estudio de Sedjo y Solomon (1989) concluye que el aumento anual actual de carbono atmosférico podría ser absorbido en casi 30 años por aproximadamente 465 millones de hectáreas de plantaciones forestales. Esto requeriría un



Figura 8.5 - Plantaciones de especies de rápido crecimiento, como estas plantaciones de *Pinus radiata* en Chile, pueden absorber el CO₂ atmosférico además de proporcionar una vasta gama de maderas, productos forestales no madereros y servicios.

aumento de más de un 10% del área forestal actual existente en la superficie terrestre. Representaría también la cuadruplicación de la actual área de plantación mundial. Este cálculo se basa en un crecimiento medio anual de 15 m³/ha/año. Un índice de crecimiento anual de 5 m³/ha/año es más realista para las plantaciones de las zonas boreales y templadas y para muchas de las que se encuentran en los trópicos. Por lo tanto, este cálculo parece muy conservador.

Grainger (1990) ofrece estimaciones para distintas hipótesis de forestación. Estas indican lo siguiente:

- * Plantar 60 millones de ha al año por 10 años crearía una área forestal suficiente para absorber 2.9 GtC al año, es decir el incremento neto de CO₂ aportado por todas las fuentes.
- * Plantar 20 millones de ha al año, comenzando en 1990, obtendría una absorción de carbono equivalente a la actual contribución neta anual de CO₂ en el año 2020.
- * Plantar 2 millones de ha al año por 30 años crearía bosques que podrían absorber un 10% del aumento neto actual de CO₂.
- * Continuar con el ritmo actual de plantaciones forestales por los próximos 40 años compensará menos del 10% del aumento neto actual de CO₂.
- * La forestación de 2 a 5 millones de ha al año podría compensar las emisiones de CO₂ de los bosque tropicales para el año 2020.

El actual ritmo de plantación forestal en los trópicos es de casi 1.8 millones de hectáreas al año (FAO 1993).

55. ¿HASTA QUÉ PUNTO LAS TIERRAS DISPONIBLES SON APROPIADAS PARA LA FORESTACIÓN Y LA REFORESTACIÓN? ¿DÓNDE ESTÁN?

Para poder responder a esta pregunta hay primero que definir el término "apropiada". Se refiere no sólo a una definición técnica en términos de suelo y condiciones climáticas, sino que depende también de factores sociales y económicos. Pagando un precio, es posible plantar árboles casi en cualquier lugar; sin embargo, el costo no será sólo en dinero sino que también en términos humanos, dado que gran parte de la tierra considera "degradada" y disponible para las plantaciones, en realidad es utilizada por personas que no poseen tierras. La decisión de comprometer una área para las plantaciones forestales debe ser tecnológicamente apropiada, económicamente factible y socialmente aceptable.

Se han hecho muchas estimaciones sobre las tierras disponibles de los trópicos para la forestación. Grainger (1990) calcula que deben haber 621 millones de ha de tierra "técnicamente" disponibles. Este cálculo no toma en consideración los factores socioeconómicos. De este cálculo, 418 millones de ha se encuentran en regiones áridas y montañosas y 203 millones de ha son bosques en barbecho en áreas húmedas. Según Houghton (1990) hay más de 865 millones de ha de tierra disponible para la forestación en los trópicos. De este número total, deben haber casi 500 millones de ha de tierras abandonadas donde antes crecían bosques en América Latina (100 millones ha), Asia (100 millones ha) y África (300 millones ha). Tierra adicional podría estar disponible sólo si los aumentos en la productividad agrícola de otras tierras permitiera que estas tierras marginales fueran excluidas de la producción. Winjum et al (1992) calculan que una combinación de forestación, agrosilvicultura y protección forestal sobre 300-600 millones de ha de tierra disponible podría conservar y secuestrar 36-71 PgC en 50 años.

En las latitudes medias y septentrionales, la utilización de la tierra se ha estabilizado en la mayoría de las áreas durante el siglo pasado, sin embargo existen todavía muchas oportunidades para los proyectos de reforestación y forestación. En realidad, en algunos países de las zona templadas, el área de territorio forestal ha aumentado conforme las tierras agrícolas marginales que han sido abandonadas han vuelto a transformarse en bosques naturales o han sido reforestadas. En 1789 en Francia un 14% de su territorio estaba cubierto por bosques; hoy los bosques representan un 27%. En Europa, en los últimos 15 años aproximadamente 600.000 ha al año se han excluido de la producción agrícola y de éstas casi un 40% se han convertido en bosques o en tierras arboladas (FAO 1992).

Se calcula que en los Estados Unidos hay 46.8 millones de ha de cultivos y de tierras de pastoreo que son aptas para el crecimiento de los árboles y que serían más apropiadas para dicha función. También hay posibilidades de realizar plantaciones de árboles de rápido crecimiento para la producción de energía que deriva de la madera en 14-28 millones ha y para establecer plantaciones de cortavientos en 1.37 millones ha. Si se realizaran plantaciones en dichos territorios, éstos podrían proporcionar una capacidad adicional de almacenamiento de carbono de 66-210 millones de t/año (Sampson y Hamilton 1992).

Un tipo de tierra que podría tener potencial para acoger el establecimiento de plantaciones es la tierra afectada por la sal, siempre que no estén siendo utilizadas por personas que no tienen otras fuentes de tierra. No se dispone de cálculos seguros y recientes sobre estas tierras, pero en los trópicos deben haber más de 50 millones ha, en África y en Asia, más de 30 millones ha en América Latina y grandes áreas en Australia y en las partes templadas y subtropicales de Asia. (Massoud 1977). Hay muchos programas de investigación activa para la selección de especies tolerantes a la sal y sobre

la procedencia de árboles para plantaciones, sobre todo en Australia y Asia, pero también hay que notar que existen programas de investigación para el desarrollo de cultivos agrícolas tolerantes al sal. No obstante, los suelos afectados por la sal son una fuente importante, aunque no cuantificada, de tierra para plantaciones.

Si nos basamos en la información que hemos citado parecería que hay grandes áreas de tierra apropiada a la forestación y a la reforestación (en términos de que no tienen gravámenes o cargas y con un ritmo de crecimiento bastante rápido) en las zonas templadas de Norte América, Europa, Australia, Chile, Argentina, Brasil y Uruguay. En África hay grandes áreas de terrenos boscosos de la sabana que están degradados, pero tienen un potencial de productividad bajo y puede que no estén libres de gravámenes. Sin embargo hay que recordar que establecer grandes plantaciones puede que no sea el uso más apropiado para estas tierras, especialmente desde el punto de vista de las necesidades de la población que actualmente las ocupa o las usa. Cualquier proyecto de forestación y reforestación a grande escala debe ser parte integrante de un plan para el uso de la tierra, realizado con total participación de las personas que dependen de dicha tierra.

También existen grandes posibilidades para las plantaciones de árboles en los patios de las casas, en los sistemas de cortavientos y agroforestales (ver pregunta 58).

56. ¿QUÉ OTRAS RESTRICCIONES EXISTEN PARA LA FORESTACIÓN DE GRANDE ESCALA?

Existen muchas otras restricciones para las iniciativas de forestación de larga escala además de la disponibilidad de tierra. Éstas pueden ser clasificadas en cuatro categorías generales: limitaciones infraestructurales, sociales, económicas y ecológicas.

RESTRICCIONES INFRAESTRUCTURALES - Las iniciativas de forestación pueden ser obstaculizadas por: una limitada capacidad institucional, falta de investigación sobre especies aptas para plantar, incentivos gubernamentales irrealistas y aumento de la población, todos factores que producen una mayor tensión en las tierras disponibles.

RESTRICCIONES SOCIALES - Los intereses y las necesidades de la población local que vive en las zonas designadas para la forestación son de la mayor importancia. Cuando las metas y los objetivos de los proyectos forestales no coinciden con los de la población local, los resultados serán menores de los esperados. Los agricultores pueden fácilmente interpretar los esfuerzos de forestación y de reforestación patrocinados por el gobierno como una usurpación a sus derechos tradicionales de usar la tierra y como un desafío a su bienestar. Frecuentemente reacciones de este tipo han llevado a una oposición activa y incluso al sabotaje, causando incendios intencionales (Trexler et al 1992).

RESTRICCIONES ECONÓMICAS - Los costos de los programas de forestación son muy variables y dependen de la naturaleza del terreno que debe ser cultivado, de los costos de la mano de obra y de las especies de árboles que se utilizarán. Un cálculo global aproximado indica que el costo de la plantación de árboles puede oscilar entre un mínimo de 200 dólares EE.UU. y un máximo de 2.000 dólares EE.UU. por ha. Puede ocurrir que los beneficios socioeconómicos esperados no justifiquen los costos de la plantación (Bernthal 1990). Por consiguiente, puede ser difícil, si no imposible, para los países que reciben préstamos de los bancos de desarrollo para los proyectos de forestación, pagar dichos préstamos.

RESTRICCIONES ECOLÓGICAS - Las desventajas ecológicas de grandes proyectos de forestación incluyen la posibilidad de introducir bajos niveles de variabilidad genética, que caracterizan las grandes zonas de plantaciones de una única

especie. Esto puede reducir su resistencia a la tensión relacionada al sitio o al clima y/o a los ataques de los insectos y enfermedades. Además, las plantaciones forestales de larga escala pueden abusar de los recursos hídricos de las zonas que ya están enfrentando demandas crecientes y excesivas de agua.

57. ¿DE QUÉ APOYO SE DISPONE A NIVEL INTERNACIONAL PARA LA FORESTACIÓN Y LA REFORESTACIÓN?

Las posibles fuentes de apoyo financiero son:

- * Gobiernos nacionales.
- * Bancos internacionales y regionales de desarrollo.
- * Industria forestal.
- * Organismos internacionales donantes, por ej. PNUD.
- * Donantes bilaterales.
- * Los ONG.
- * Empresas privadas.
- * Sociedades de utilidad pública interesadas en compensar las emisiones de carbono.

Un gran número de donantes de los países desarrollados, incluyendo los organismos internacionales, han ofrecido apoyo financiero para realizar plantaciones forestales en los países en desarrollo. El Banco Mundial, hasta 1990, ha otorgado fondos

para proyectos forestales equivalentes aproximadamente a 2.5 mil millones de dólares EE.UU.. Más de un 50% de esta cifra ha sido utilizada para plantaciones forestales (Pandey 1992). En 1990, la ayuda para el desarrollo en el campo de "la ordenación de los bosques y de las plantaciones para la utilización industrial" fue de 347.6 millones de dólares EE.UU., es decir el 25% del total. Esto equivale a un aumento de 1.8 veces más de los 191.9 millones de dólares EE.UU. que se puso a disposición en 1988 (Ball 1992). Sin embargo, vale la pena observar que el Banco Mundial y muchos donantes bilaterales están otorgando menos préstamos concesionarios o subvenciones para las plantaciones industriales, debido a que éstas deberían ser lo suficientemente rentables para buscar apoyo en las normales fuentes de fondos.

El *Global Environmental Facility* (GEF), administrado por el Banco Mundial, PNUD y PNUMA, es una fuente de recursos que atiende cuatro problemas medio ambientales claves. Éstos son: reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero, protección de la biodiversidad, protección de las aguas internacionales y limitación de la reducción de la capa de ozono.

Otra componente importante de los proyectos de forestación y reforestación es la ayuda técnica, que también es proporcionada por una serie de fuentes, que incluyen los gobiernos nacionales, organismos internacionales de asistencia técnica, como la FAO y donantes internacionales. El Programa Bosques, Árboles y Población (FTPP), es un programa innovador que ayuda a las comunidades rurales de los países en desarrollo a elaborar estrategias, métodos e instrumentos más eficaces para las actividades forestales, incluyendo las plantaciones forestales. El FPPP opera en base a una cooperación entre un equipo de especialistas en comunidades forestales, basado en el Departamento de Montes de FAO en Roma, y una diversidad de instituciones nacionales y regionales en África, Asia y América Latina.

58. ¿CÓMO LA AGROSILVICULTURA Y LAS PLANTACIONES DE ÁRBOLES URBANAS PUEDEN CONTRIBUIR A MITIGAR LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS?

La magnitud de la contribución del almacenamiento de carbono de las plantaciones agrosilviculturales dependerá de la escala en que éstas serán realizadas y del uso final que se hará de la madera.

Se ha descubierto que si se dan las condiciones económicas, sociales y medio ambientales apropiadas, los agricultores adoptan fácilmente los sistemas agroforestales. En aquellos países en los que las tierras forestales públicas tiene una extensión limitada o los esfuerzos para realizar plantaciones de árboles son escasos, las plantaciones agroforestales pueden representar una significativa contribución para la plantación de árboles y la absorción de carbono. Hay posibilidades para que se incrementen las plantaciones forestales tanto en las zonas tropicales como en las templadas. Se informa que en China, durante la década de 1981-1990, se llevaron a cabo plantaciones agroforestales de grande escala en más de 6.5 millones de ha, como las realizadas bajo el esquema "Four Around". Un proyecto de dicha magnitud, si llevado a cabo con éxito, absorbería grandes cantidades de carbono junto a proporcionar otros beneficios para el medio ambiente, como la protección del suelo de la erosión del viento y del agua.

Los sistemas agroforestales están siendo tomados en consideración en Europa occidental como sistemas alternativos para la producción intensiva que sustituyan los que se utilizan actualmente y que producen grandes cantidades de excedentes de ciertos cultivos. En los Estados Unidos, hay grandes zonas que se beneficiarían si se aumentaran las plantaciones y cortinas de cortavientos (ver pregunta 55) (Sampson y Hamilton 1992).

Las plantaciones urbanas de árboles proporcionarían un beneficio más limitado en lo que concierne el almacenamiento de carbono, respecto a las plantaciones rurales, porque, dado su naturaleza, no serían muy extensas. No obstante, éstas tienen el potencial de proporcionar otros beneficios mucho más importantes dentro del contexto del cambio climático (Fig 8.6). Durante las dos últimas décadas se ha estudiado el efecto de los árboles urbanos en los microclimas locales, sobre todo en los países desarrollados. Es evidente que los árboles urbanos tienen un efecto significativo y cuantificable en lo que concierne el inmediato clima local y, de hecho, se han realizado varios tentativos para estimar cuál sería el efecto de una comunidad de plantaciones de árboles urbanos en la mitigación de las emisiones de carbono. En un cálculo procedente de los EE.UU. la plantación de 100 millones de árboles en los alrededores de las casas, junto a los esfuerzos para reducir la absorción de calor y radiaciones mediante un programa para transformar las superficies oscuras, tales como los aparcamientos y los edificios, en colores claros, es equivalente a impedir la liberación de carbono en la atmósfera de casi 17 millones de toneladas cada año (Akbari *et al.* 1988). Los ingenieros forestales urbanos chinos han comunicado que el clima de algunas ciudades ha variado considerablemente debido a los extensos programas de plantaciones de árboles (ver cuadro 8.1).

Los árboles también pueden tener un importante efecto positivo en los costos de la calefacción invernal y de la refrigeración de los edificios durante el verano. Dependiendo de su ubicación, los esfuerzos de conservación de energía de un sólo árbol urbano puede evitar el desprendimiento de una cantidad 15 veces mayor de carbono atmosférico de la que es capaz de retener. Los árboles rompen las "islas de calor" de las ciudades proporcionándonos sombra. La sombra de árboles ubicados estratégicamente cerca de cada casa puede reducir la necesidad de aire acondicionado doméstica de un 30% a un 50%. Los árboles plantados como cortavientos alrededor de



Figura 8.6 - Árboles de sombra, tales como estos *neem* plantados a lo largo de las calles de Niamey, la capital de Níger, bajan las temperaturas y proporcionan un ambiente más placentero.

los edificios en la regiones templadas y boreales puede reducir el uso energético invernal destinado a la calefacción de un 4 a un 22%. Por lo tanto, los árboles urbanos ofrecen la doble ventaja de almacenar pequeñas cantidades de carbono y de proteger los edificios de las temperaturas frías o calientes extremas, lo que da como resultado un menor consumo de combustibles fósiles. Las plantaciones de árboles urbanos podría ser particularmente ventajosa en las regiones tropicales donde los árboles crecen rápidamente y los efectos directos de refrigeración proporcionados por las sombras son significativos (Sampson *et al.* 1992).

El efecto de los árboles plantados a los alrededores de los edificios para la economía de energía depende del tipo y de la forma del árbol y de su ubicación. Los árboles de hoja caduca, que durante el verano dan sombra en las ventanas dirigidas al

Cuadro 8.1 Los efectos de las plantaciones forestales en el microclima de Nanjing, China.

La ciudad industrial de Nanjing, con una población de 1.5 millones de habitantes, es conocida como una de las cinco "ciudades horno" del valle de Yangtze. Desde 1949 se han plantado casi 3.4 millones de árboles en la ciudad y en sus alrededores, con el objetivo específico de disminuir las temperaturas del verano y, en general, regular el clima local, purificar el aire y embellecer el ambiente. Se afirma que la disminución de la temperatura media veraniega de 32.2°C a 29.4°C durante el período que va de 1949 a 1981 es directamente atribuible al efecto de refrigeración de las plantaciones de árboles. En 32 años se plantaron aproximadamente 23 árboles por habitante. Las plantaciones de árboles incluyen: forestación en bloque de laderas degradadas, cortavientos, hilera triple de árboles a lo largo de las vías férreas y plantaciones de árboles en las calles (Carter 1994).

oeste, pero que permiten que las radiaciones solares alcancen las mismas ventanas en invierno, son particularmente convenientes. En el hemisferio septentrional, los árboles que se encuentran al lado sur de la casa deberían ser altos y estar bastante cerca de la misma, con el tronco podado de tal modo que el sol invernal pueda penetrar. Para que los árboles sean eficientes energéticamente es importante que la especie, la ubicación y la ordenación del árbol sean armonizados cuidadosa y apropiadamente a la situación individual (Sampson et al. 1992).

59. ¿ES PRUDENTE UNA POLÍTICA DE PLANTACIÓN DE ÁRBOLES ÚNICAMENTE CON EL OBJETIVO DE ABSORBER CARBONO SI CONSIDERAMOS LAS DIVERSAS NECESIDADES EXISTENTES PARA LAS TIERRAS DISPONIBLES?

Actualmente existen muchas dudas relacionadas con el problema del cambio climático global. Además, en muchos países la cantidad de tierra disponible apropiada para la agricultura y la silvicultura es limitada. Por lo tanto, toda respuesta del sector forestal para adaptar o mitigar los posibles efectos de los cambios climáticos deberían constituir una política prudente, **independiente** del calentamiento global pronosticado y debería producir beneficios netos diferentes de los que se podrían producir con el pasar del tiempo en el contexto del cambio climático (por ej. madera, leña, protección de las cuencas, productos no madereros y servicios no comerciales, como el ecoturismo y la recreación). La posición de la FAO, por lo que concierne a la forestación para la absorción de CO₂, es fomentar la plantación de árboles en las zonas para las que el bosque es la vegetación más apropiada. Esto debe ser definido por planes de uso de la tierra y por las estrategias forestales, como se señala en los documentos elaborados por el Programa de Acción Forestal en los Trópicos

(PAFT) y no por objetivos teóricos (FAO 1990) (ver también pregunta 45).

La FAO, en vez de concentrarse exclusivamente en la forestación y en la repoblación forestal, sostiene la necesidad de la adopción de un enfoque integrado que incluye:

- * La ordenación y la protección de las áreas de bosques naturales existentes, para asegurar una productividad sostenida de largo plazo de una amplia gama de recursos comerciales y no comerciales inclusive la absorción de CO₂.
- * Aumentar gradualmente los esfuerzos de forestación o reforestación en sitios adecuados con apropiada ordenación y protección.
- * Una utilización apropiada de la madera producida para reducir el ritmo de la liberación de carbono.

60. ¿CUÁLES POLÍTICAS FORESTALES SE DEBERÍAN CONSIDERAR A NIVEL NACIONAL PARA CONTRASTAR LA AMENAZA DEL CAMBIO CLIMÁTICO?

Una política cuyo objetivo es reducir los niveles actuales de **deforestación** y degradación forestal debería tener la máxima prioridad en los países donde la deforestación es una actividad predominante. La ejecución de dicha política requerirá la adopción de medidas tanto en el sector forestal como en el agrícola (ver pregunta 46). Una política de **forestación/reforestación** se justifica también con tal que sea **económica, ecológica y socialmente** razonable, incluso sin

considerar el cambio climático. Las iniciativas de forestación/reforestación deberían ser acompañadas por políticas y programas que tengan el objetivo de asegurar la salud de las plantaciones y de los bosques naturales, de tal modo que se alcancen los objetivos de las inversiones hechas en el desarrollo del sector forestal. También vale la pena considerar una política para **la sustitución parcial de las fuentes de energía fósil con madera y otros biocombustibles**. Usar madera en lugar de materiales procedentes de otras fuentes, cuya producción requiere mucha más energía, contribuye a economizar energía, a reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero y a mantener las reservas actuales de carbono.

Al momento de elaborar políticas forestales para mitigar los efectos del cambio climático global previsto, se debe admitir que éstas se pueden realizar **sólo** y conjuntamente con medidas paralelas para reducir las emisiones de los combustibles fósiles y para promover una agricultura sostenible. La mayor parte de las emisiones actuales de gases de efecto invernadero son el resultado de la quema de combustibles fósiles. Por lo tanto, la conservación de los combustibles fósiles y la utilización de fuentes de energía alternativa, incluyendo el uso de fuentes de energía renovables, es fundamental.

BIBLIOGRAFIA

- Akbari, H., J. Huang, P. Martien, L. Rainer, A. Rosenfeld y H. Taha, 1988.** The impact of summer heat islands on cooling energy of consumption on global CO₂ concentration. *Actas del ACEEE 1988 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*. Vol. 5, agosto 1988, American Council for an Energy Efficient Economy, 11-23.
- Ball, J., 1992.** Forest plantations and wise management of tropical forests. *Actas de la Conferencia celebrada en Oxford sobre los Bosques Tropicales, 1992*, Oxford Forest Institute, Reino Unido, págs. 97-109.
- Bernthal, F. M. ed, 1990.** Formulation of Response Strategies. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos, Grupo de Trabajo III, OMM, PNUMA, pág. 257.
- Brown, S y A. E. Lugo, 1982.** The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotropica* 14:161-187.
- Brown, S y A. E. Lugo, 1984.** Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. *Science*, 223:1290-1293.
- Brown, S., A. E. Lugo y J. Chapman, 1986.** Biomass of tropical tree plantations and its implications for the global carbon budget. *Canadian Journal of Forest Research* 16:390-394.
- Brubaker, L. B., 1975.** Postglacial forest patterns associated with till and outwash in north central upper Michigan. *Quat. Res. (NY)* 5:499-527.
- Calabri, G. y W. M. Ciesla, 1992.** Global wildland fire statistics. *FO Misc/92/4*, FAO, Roma, 48 p.
- Cane, M. A., G. Eshel y R. W. Buckland, 1992.** Forecasting Zimbabwean maize yield using eastern equatorial Pacific sea surface temperature. *Nature* 370:204-205.

- Carter, E. J., 1994.** The potential of urban forestry in developing countries: A concept paper. Departamento de Montes, FAO, Roma, Italia, 90 p.
- Ciesla, W. M., 1993.** Supporting wildfire management worldwide. *Stop Disasters* 11:8-9.
- Ciesla, W. M., D. K. Mbugua y J. G. D. Ward, 1994.** Preliminary observations on dieback and mortality of *Juniperus procera* in Kenya. Integrated Forest Pest Management Centre, Ministry of Environment and Natural Resources, Nairobi, Kenia y Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación, Roma, Italia, KEN/ 91/005, Documento de campo 6, 11 p.
- Ciesla, W. M. y E. Donaubauer, 1994.** Dieback and decline of trees and forests - a global overview. Estudios FAO: Montes N°120, 90 p.
- Coughlan, M. J. y B. S. Nyenzi, 1990.** Climate trends and variability. En *Climate Change, Science, Impacts and Policy*. Actas de la segunda Conferencia sobre el Clima Mundial, Ginebra, Cambridge University Press págs. 71-82.
- Cubash, U. y R. Cess, 1990.** Process and Modelling. En *Scientific Assessment of Climate Change*, IPCC WGI, OMM, PNUMA, págs 75-98.
- Davis, M. B., 1989.** Lags in vegetation response to global warming. *Climate Change* 15:75-82.
- Dixon, R. K., S. Brown, R. A Houghton, A. M. Solomon, M. C. Trexler y J. Wisniewski, 1994.** Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263:185-190.
- Dykstra, D. P., 1994.** Wood residues from timber harvesting and primary processing: A global assessment for tropical forests. Borrador de trabajo, FAO, Roma.

- Dykstra, D. P. y R. Heinrich, 1992.** Sostenimiento de los bosques tropicales mediante sistemas de explotación ecológicamente adecuados. *Unasylva* 43/169:9-15.
- Easterling, W. E., 1990.** Climate trends and prospects. En *Natural Resources for the 21st century*, American Forestry Association, Washington D. C., págs: 32-55.
- Eriksson, G., G. Namkoong y J. H. Roberds, 1993.** Dynamic gene conservation for uncertain futures. *Forest Ecology and Management* 62:15-37.
- FAO, 1986.** Terminología del control de incendios en tierras incultas. *Estudios FAO: Montes N° 70*, Roma, Italia, 257 p.
- FAO, 1990.** El cambio climático y la agricultura, los bosques y la pesca. Documento de la FAO para la Segunda Conferencia sobre el clima Mundial, Ginebra, Suiza, 11 p.
- FAO, 1992.** Anuario de productos forestales de la FAO. Serie FAO:Montes N° 117/FAO Series estadísticas N° 103, FAO, Roma Italia.
- FAO, 1993.** Evaluación de los recursos forestales 1990. Países tropicales. *Estudios FAO: Montes N° 112*, 59 p + anexos.
- FAO, 1994.** Mangrove forest management guidelines. *Estudios FAO: Montes N° 117*, 319 p.
- Finck, A., 1985.** Nasse und trockene Sommer in früheren Jahrhunderten. *Forschungsbericht und Halbjahresschrift der Unversität Kiel, Heft 20 (neue Folge): 29-34.*
- Fosberg, M. A., J. G. Goldammer, D. Rind y C. Price, 1990.** Global Change: Effects on Forest Ecosystems and wildfire severity. En *Fire in the Tropical Biota*, Springer-Verlag, Berlín, págs. 463-486.

- Gable, F. J. Gentile y D. H. Aubrey**, 1990. Global climatic issues in the coastal wide Caribbean Region. *Environmental Conservation* 17:51-60
- Goldammer, J. G. y B. Seibert**, 1990. The impact of droughts and forest fires in tropical lowland rain forest of East Kalimantan en *Fire in the Tropical Biota, Ecosystem Processes and Global Challenges*. Springer-Verlag, Berlín, págs. 11-31.
- Gommes, R.**, 1980. Die Wetterlage im Laufe der Zeit. *Zeitschrift für Geschichte, Folklore und Culture*, 162-166.
- Gommes, R.**, 1993. Current climate and population constraints on world agriculture. En *Agricultural Dimensions of Global Climate Change*. St. Lucie Press, Delray Beach, Florida, págs. 67-86.
- Goodness, C. M., J. P. Palutikof y T. D. Davies**, 1992. The nature and causes of climate change. Belhaven Press, London and Lewis Publishers, Boca Raton, 248 p.
- Grabherr, G. M. Gottfried y H. Pauli**, 1994. Climate effects on mountain plants. *Nature* 369:448.
- Grace, J.**, 1991. Vegetation and Climate: a tenuous link. En *Modern Ecology: Basic Applied Aspects*. Amsterdam, Elsevier, págs. 711-722.
- Grainger, A.**, 1990. Modelling the impact of alternative afforestation strategies to reduce carbon dioxide emissions. En *Tropical Forestry Response Options to Climate Change, Actas de la Conferencia celebrada en São Paulo, Brasil, US EPA*, págs. 93-104.
- Gray, W. M.**, 1993. Extended range forecast of Atlantic seasonal hurricane activity for 1994. Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Ft. Collins, Colorado, 10 p.

- Hair, D. y R. N. Sampson, 1992.** Climate change - history, prospects, and possible impacts. En *Forests and Global Change V.1: Opportunities for increasing forest cover*. American Forests, Washington D.C., págs. 1-10.
- Harrington, J. B., 1987.** Climate Change: a review of causes. *Canadian Journal of Forest research* 17:1313-1339.
- Hessburg, P. F., R. G. Mitchell y G. M. Filip, 1994.** Historical and current roles of insects and pathogens in eastern Oregon and Washington Forested landscapes. Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, Portland, Oregon, GTR 327, 72 p.
- Hepting, G. H., 1963.** Climate and forest diseases. *Annual Review of Phytopatology* 1:31-50.
- Hollinger, D. Y., J. P. Maclaren, P. N. Beets y J. Turland, 1993.** Carbon sequestration by New Zealand's plantation forests. *New Zealand Journal of Forestry Science* 23:194-208
- Houghton, R. A., 1990.** Projections of future deforestation and reforestation in the tropics. En *Tropical Forestry Response in the tropics*, Actas de la Conferencia celebrada en São Paulo, Brasil, US EPA, págs. 87-92.
- Houghton, J. T., 1990.** Evaluación científica del cambio climático: Resumen del informe preparado por el Grupo de Trabajo 1 del IPCC. Actas de la Segunda Conferencia sobre el Clima Mundial, Ginebra, Suiza, Cambridge University Press, págs. 23-46.
- Hutacharern, C., K. G. MacDicken, M. H. Ivory y K. S. S. Nair, 1990.** Actas del taller organizado por la Unión Internacional de Instituciones de Investigación Forestal sobre las plagas y enfermedades de las plantaciones forestales. FAO, Oficina Regional para Asia y el Pacífico. Publicación RAPA 1990/9, 283 p.

- Informe sobre el cambio medio ambiental mundial, 1994.** Los países en desarrollo son responsables del 37% de las emisiones de carbono. 6:3-4, Cutter Information Corp.
- Instituto Mundial sobre Recursos, 1990.** World Resources 1990-91: A guide to the global environment. Oxford University Press, New York.
- IPCC, 1992.** The 1992 IPCC Supplement, OMM/PNUMA, 70 p.
- IPCC, 1994.** Summary for policymakers of the 1994 WG I report on radiative forcing of climate change. OMM/PNUMA, IPCC 10ª Sesión, Nairobi, Kenia, IPCC X/Doc. 3 Parte 1, Item 3.1.
- Izrael, Y. A., Hashimoto y W. J. McG. Tegart, 1990.** Potential impacts of climate change. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos, Grupo de Trabajo II, OMM, PNUMA, págs. 39-40.
- Jacobson, J. S. y A. C. Hill ed, 1970.** Recognition of air pollution injury to vegetation: A pictorial Atlas. Air Pollution Control Association, Pittsburg, Pensilvania, EE.UU.
- Karakezi, S., 1994.** Household energy initiatives for a sustainable future. Foundation for Woodstove Dissemination, Nairobi, Kenia, Stove Notes 10, 35 p.
- Kristiansen, G., 1993.** Biological effects of climate change: An introduction to the field and survey of current research. Global Change and Terrestrial Ecosystems, International Geosphere-Biosphere Program.
- Lanly, J. P., 1982.** Los recursos forestales tropicales. Estudios FAO: Montes N° 30, Roma, 106 p.
- Lanly, J. P., 1989.** Forest resources of the world. Actas de Wildland Fire Conference, celebrada el 23-26 de julio de 1989 en Boston, MA, EE.UU, Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, págs 10-13.

- Lashof, D. y D. Tirpak, 1989.** Policy options to stabilize global climate. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis. Washington D.C.
- Lincoln, D. E., N. Sionit y B. R. Strain, 1984.** Growth and feeding responses of *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera:Noctuidae) to host plants grown in controlled carbon dioxide atmospheres. *Environmental Entomology* 13: 1527-30.
- Lincoln, D. E., 1993.** Herbivore responses to plants grown in enriched CO₂ atmosphere. *En Global Change Research in FY 1993: US Dept. Energy DOE/ER-059T*, pág. 112.
- Lugo, A. E. y S. Brown, 1992.** Tropical forests as sinks of atmospheric carbon. *Forest Ecology and Management* 54:239-255.
- Maunder, W. J., 1990.** The climate change lexicon (Provisional Edition). *Segunda Conferencia sobre el Clima Mundial, Ginebra, Suiza*, 131 p.
- McGovern, T. H., 1991.** The economics of extinction in Norse Greenland. *En Climate and History: Studies in past climates and their impact on man*. Cambridge University Press, págs. 404-433.
- Miller, W. F., P. M. Dougherty y G.L. Switzer, 1987.** Effects of rising carbon dioxide and potential climate change in loblolly pine distribution, growth, survival and productivity. *En The Greenhouse Effect, Climate Change and U. S. Forests*. the Conservation Foundation, Washington D.C., págs. 157-189.
- Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 1994** La gestion durable des Forêts Françaises, Direction de l'Espace Rural et de la Forêt, 76 p.
- Mueller-Dombois, D., 1992.** Potential effects of the increase in carbon dioxide and climate change in the dynamics of vegetation. *Water, Air and Soil Pollution* 64:61-79.

- Mueller-Dombois, D. y J. G. Goldammer, 1990.** Fire in tropical ecosystems and global environmental change: An introduction, **En** *Fire in the Tropical Biota, Ecosystem Processes and Global Challenges*. Springer Verlag, págs. 1-10.
- Olson, J. S., J. A. Watts y L. J. Allison, 1983.** Carbon in live vegetation of the major world ecosystems, US Dept. Energy, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, EE. UU. ORNL 5862
- OMM, 1994.** Drier forests in prospect? *World Climate News*, 5:5.
- Pandey, D., 1992.** Assessment of tropical plantation resources. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Survey, 128 p. (Realizado para Forest Resources Assessment Project de la FAO, 1990).
- Parry, M. L. y T. R. Carter (ed), 1984.** Assessing the impact of climate change in cold regions. Summary Report SR-84-1, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 42 p.
- Patterson, D., 1993.** Did Tibet cool the world? *New Scientist* 139:29-33.
- Pearce, F., 1994.** Forests destined to end in the mire. *New Scientist* 143:37-41.
- Peters, R. L., 1990.** Effects of global warming on forests. *Forest Ecology and Management* 35:1333.
- Pinard, M. A., 1994.** Reduced-impact logging project. ITTO Tropical Forest Update 4:11-12.
- Plass, G. N., 1959.** Carbon dioxide and climate. *Scientific American* 201:41-47.
- Pollard, D. F. W., 1985.** A forestry perspective on the carbon dioxide issue. *Forestry Chronicle*, agosto: 312-318.

- Putz, F. A., 1994.** Towards a sustainable forest ITTO Tropical Forest update 4:7-9.
- Sampson, N. y T. Hamilton, 1992.** Can trees really help fight global warming. *American Forests*, 98:13-16.
- Sampson, R. N., G. A. Moll y J. J. Keibaso, 1992.** Opportunities to increase urban forests and the potential impacts on carbon storage and conservation. **En** *Forests and Global Change*, *American Forests*, Washington D. C., págs. 51-67.
- Sarimento, J.L., 1993.** Atmospheric CO₂ stalled. *Nature* 365-697-698.
- Sauerbeck, D. R., 1992.** Potential impacts of climate on agricultural production. Institute of Plant Production and Soil Science: German Federal Research Center of Agriculture, Bundsallee, Braunschweig, Alemania, 15 p.
- Schroeder, P., 1991.** Carbon storage potential of short rotation tropical tree plantations. EE.UU. United States Environmental Protection Agency, Corvallis, Oregón, 19 p.
- Sedjo, R. A., 1990.** The global carbon cycle - Are forests the missing sink? *Journal of Forestry* 88:33-34.
- Sedjo, R. A. y A. Solomon, 1989.** Climate and forests. Paper prepared for workshop on controlling and adapting to greenhouse forcing, Environmental Protection Agency y NAS, Washington D. C., 14-15 de julio de 1988.
- Seigenthaler, U. y E. Sanhueza, 1990.** Greenhouse gases and other climate forcing agents. **En** *Scientific assessment of climate change*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos, Grupo de Trabajo 1, OMM, PNUMA, págs. 47-58.

- Solomon, A. M. y P. J. Bartlein, 1992.** Past and future climate change: response by mixed deciduous-coniferous ecosystems in northern Michigan. *Canadian Journal of forest research* 22:1727-1738.
- Sombroek, W. G., 1990.** Soils on a warmer earth: the tropical regions. En *Soils on a warmer earth*, Elsevier, Amsterdam, págs. 157-174.
- Sombroek, W. G., 1991.** The greenhouse effect, plant growth, and soils. *Soils Reference and Information Center (ISRIC) 91/45*, 3 p.
- Sombroek, W. G., F. O. Nachtergaele y A. Hebel, 1993.** Amounts dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio* 22:417-426.
- Stine, S., 1994.** Extreme and persistent drought in California and Patagonia during medieval time. *Nature* 369:546-549.
- Stommel, H. y E. Stommel, 1993.** *Volcano weather. Seven Seas Press, Newport, RI, EE.UU.* 117 p.
- Trexler, M. C., C. A. Haugen y L. A. Loewen, 1992.** Global warming mitigation through forestry options in the tropics. En *Forests and Global Change, American Forests*, Washington D. C., págs. 73-96.
- USDA, 1988.** Forest health productivity in a changing atmospheric environment, a priority research program. Servicio Forestal, Forest Fire and Atmospheric Sciences Research Staff, Washington D.C., EE.UU. 56 p.
- USDA, 1994.** America's forests: 1994 health update. Servicio Forestal, Agriculture Information Bulletin 696, 20 p.
- Watson, R.T., H. Rhode, H. Oeschger y U. Sieganthaler, 1990.** Greenhouse Gases and Aerosols. En *Scientific Assessment of Climate Change. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos, Grupo de Trabajo 1, OMM, PNUMA*, págs. 1-44.

- Wertman, J., 1976.** Milankovitch solar radiation variations and ice age ice sheet sizes. *Nature* 261:17-20.
- Windelius, G. y P. Tucker, 1990.** El Sol, señor de escalofriante poder: efectos futuros probables de la actividad solar sobre el clima. *Unasyva* 41/163:15-21.
- Winjum, J. K., R. K. Dixon y P. E. Schroeder, 1992.** Estimating the global potential of forest and agroforest management practices to sequester carbon. *Water, Soil and Air Pollution* 64:213-227.
- Zimmerman, P. R., J. P. Greenberg, S.O. Wandiga y P. J. Crutzen, 1982.** Termites, a potentially large source of atmospheric methane, carbon and molecular hydrogen. *Science* 218:563-565.

ÍNDICE

A

absorción de carbono- 53,55,58,
59,64,112,113,117,124,136
ácido carbónico -15
actividad microbiológica -
40,41,64
acuerdos internacionales -94,95
acuicultura -71
adaptación -3,83,84,92,93,94
aerosoles -23,27,28
agricultura -2,19,23,27,62,63,
76,79,91,94,97,98,101,128,130
agrosilvicultura -118,124
agua-10,12,13,15,27,36,38,39,
42,44,62,63,64,70,107,112,
122,123,124
albedo -10,59
almacenamiento de carbono -
53,94,105,106,109,110,119,
124,125
anillos de crecimiento de los
árboles -4
año sin verano -12
anomalías climáticas -42,78,89
antropogenética -78
árboles de hoja caduca -126
asteroides -10,11

B

bacterias -52
banco genético -88
Banco Mundial -96,122,123
base genética -80,86,87
b i o c o m b u s t i b l e s -
102,103,104,105,130
biomasa-20,22,44,45,53,56,60,
74,75,99,101,102,104,105
boreal -56,62,65,71,72,80
114,117,126
bosques degradados -53
bosques naturales -55,110
bosques templados -59,80

bosques tropicales -13,20,55,59,
62,74,75,76,80,81,96,97

C

calentamiento -2,10,13,24,26,
35,66,67,76,82
calentamiento global -
19,104,128
cambios climáticos regionales -36
carbón vegetal -23,60,102
CFC -19,22,23,25,26
CH₄ -19,20,26,41,52,59
ciclo del carbono -44
circulación oceánica -10,37
CNUMAD -94,95
CO - 19,22,59,80
C O 2 -
2,13,19,20,21,23,25,26,29
30,32,33,34,37,38,39,40,41,47
49,52,59,64,68,69,70,75,78,79,
80,105,106,112,115,116,117,
128,129
combustibles -74,75,79,88,99
100,101,104,105,126,130
combustibles fósiles - 2,20,22
23,27,44,47,52,58,104,105,126
130
combustión -74,102
compensar -115,117,122
competencia -40,84,85
concentración atmosférica -45
conservación -95,96,110,112
115,130
contaminación atmosférica -45
Convección Marco sobre el
Cambio Climático -94
copas de los árboles -50,74
corriente oceánica -12
cosecha -11,39,86
crecimiento -4,29,37,38,39,40
41,53,55,59,64,64,80,83,85,
86,94,106,107,110,114,116,
117,119,120
cultivos comerciales -39,98

D

decadencia forestal -88
defoliación -79

defoliador -76,77,79
deforestación -20,23,47,52,53
59,62,63,97,104,129
deforestación tropical -62
depósitos de carbono -53,95
desarrollo -1,2,27,62,84,86,
93-98,102,103,106, 110,112,
120-123,130
desertificación -104
desierto -5,27,56
dióxido de carbono -19
distribución natural -67,71,72
88
donantes -122,123

E

ecologistas -72,73
económica -91,95,120,121,124
129
económicamente viable -91
económico -97,111,118
ecosistema -22,53,64,66,67,92
93,101
efecto invernadero -2,3,10,14
16,17,19,23-37,41,42,45,50-52,
59,61,62,67,83,90-94,97,102-
106,110,114,115,123,130
El Niño -10,12,13,74
emisiones -12,23,24,27,32,33
47,52,53,53,58,62,63,83,94,99
102-106,115,117,122,123,125
130
emisiones de combustibles fósiles
-58
energía fósil -130
enfriamiento -11,12,15,28,67
ENSO -12,13,21,74
epidemia -40,76,79,80,86,87
época glacial -1,11
equilibrio carbónico -58
Era Mesozoica -5

erosión -10,15,41,63,71
107,124
especies arbóreas -67,72,86,87
especies vegetales alpinas -71
estación de los incendios -74
estrés -74,76,79,82,85
estructuras de madera -113
evapotranspiración -10
evolución -73,84
extinción -72,73,112

F

FAO -50,95,96,101,107
123,128,129
fertilizantes -20,98
fijación de carbono -114
fijación de nitrógeno -64
fitoplancton -10,13
flujo -44,45,47,93,107
forestación -87,95,114,117,118
120-123,127-130
formación de nubes -70
fotosíntesis -29,37,38,44,51,64
frecuencia de los relámpagos -75
fuegos dirigidos -60,101
fuente de carbono -44,48

G

ganadería -19,22,23
gases de efecto invernadero -2
10,14,16,17,19,22-24,26-33,36
37,41,45,50-52,59,61,62,67,83
90-94,97,102-106,110,114,115
123,130
glaciales -17,25
glaciares continentales -5
Global Environmental Facility -
123

H

habitat -71,72,84
hemisferio meridional -8
hemisferio norte -8,84
hemisferio septentrional -8
21,35,47,65,128

- hemisfero sur -8
 hidrógeno -10
 historia geológica -4,6,34
 hongos -52,110,112
 hornos para cocinar -104
 huracanes -13,35,41,75
- I**
 incendio -13,20,27,40,60,64
 71,74,75,79,86-89,99,100,101,
 121
 incendio de matorrales -61
 incentivos económicos -111
 insectos -52,64,76-81,85-89,
 101,122
 intercambio de carbono -44,47
 54
 inventarios -86,93
 islas de calor -125
- L**
 leña -60,75,102-104,128
 levantamiento -15
 líneas corta-incendios -101
 lluvia ácida -27
- M**
 madera -23,71,88,95,105,107
 113,114,116,119,124,128-130
 manchas solares -10,11
 manejo integrado de plagas (MIP)
 -87
 manglares -71
 materia orgánica -4,40,41,52,93
 107
 medidas previas de supresión -
 87,99
 metano -17-20,22-25,33
 microclima -125,127
 migración -66,72,84
 mitigación -83,84,90-92,125
 modelos de circulación general
 (MCG) -29-36,39,42
 modelos para la previsión del
 clima -70
- monóxido de carbono -19,22
- N**
 nitrógeno -19,22,41,49,64,78
 niveles atmosféricos -2,21,24,26
 29,30,37,51,67,83
 nubes -10,16,27,28,30,33,39,70
 nutrientes -41,64,85
- O**
 océano -5,12,13,15,21,30,33,36
 44,45,47,105
 OMM -4
 ordenación forestal -2,3,85,86
 90,93,106
 organismos internacionales -95
 122, 123
 óxido nitroso (N₂O) -19
 óxidos de nitrógeno (NO_x) -19,22
 ozono -19,22,23,25,123
- P**
 pastoreo -22,23,59,98,119
 Pequeña edad del hielo -12
 perforadores de corteza -79
 Período Pleistoceno -7
 períodos de grande frío -78
 pesca -2,29,71
 Pinatubo -12,21
 placas centrales de los hielos -25
 plaga -40,71,76,78,80,81,85-89,
 110
 plan para el uso de la tierra -120
 plantación forestal -103,115,117
 plantaciones -50,58,59,80,81
 86, 87, 105, 106, 110, 114 -
 127,130
 plantaciones urbanas -125
 PNUD -122,123
 PNUMA -123
 polen -4,39,65,66
 polen fósil -66
 políticas forestales -129,130
 porcentaje de fijación -114

potencial de recalentamiento de la tierra (PRT) -24,26
praderas -60,98
precipitaciones -5,6,8,13,27,29
31,33-39,42,65,70,74
prevención -87,99,101
previsión del clima -70
procedencias -85,87
productos combustibles -75,88
100,101
productos de papel -61,113
productos forestales -61,71,111
112,116
productos madereros -61,71,80
productos no madereros -110
112,128
Programa Bosques, Árboles y Población -123
Programa de Acción Forestal en los Trópicos (PAFT) -86,95,128
programa integrado de gestión de incendios -99
programación de las cosechas -86
programas de plantaciones -87
125

Q

quema-2,13,19,20,22,23,27,48
52,53,59-61,63,89,90,99,101
102,105,124,130
quema de la biomasa -20,60

R

radiaciones solares -11,12,16
33,128
rayos ultravioleta -22
reciclaje -113
reforestación -87,114,118,119
120,123,129
regiones boreales -126
regiones templadas -62,126
relación carbono/nitrógeno -78
relámpagos -22,60,75
reservas de carbono 45-

restos de madera -105
restricciones -120,121
Revolución Industrial -20
rotación -112

S

sector forestal -76,86,90,
91,128-130,
sequía -4,9,13,41,42,74,76,78
83
silvicultura -2,22,29,86,87,90,92
94,118,124,128
sociedades de utilidad pública -
122
socioeconómicos -32,112,118,
121,122,130
Sol -10,11,14,16,27
sumidero de carbono -3,48
sumidero desconocido de carbono
-49
sumideros -32,33,44,46,47,49
50,55,83,90,92,93,110,114

T

Tambora -12
teoría de Milankovitch -11
tiempo de permanencia -24
tierras arboladas
50,51,56,59,60
99,101,119
tierras de turbas -48
tifones -35
troncos -51,107
tundra -48,56,66
turba -48
turbales -60,92

V

vapor de agua -19,38
variabilidad climática -34,83
variabilidad genética -84,93,121
variación genética -73
vegetación -4,10,50,57,60,61,63
65,68,74,89,101,107,108
volcán -10,12,21,27,60

XYZ

zonas climáticas -66

zonas costeras -71

Zonas de Vida de Holdridge -
56,68

zonas templadas -4,62,120

CUADERNOS TECNICOS DE LA FAO

ESTUDIOS FAO: MONTES

- 1 Manual sobre contratos de aprovechamiento de bosques en tierras públicas, 1977 (E F I)
- 2 Planificación de carreteras forestales y sistemas de aprovechamiento, 1978 (E F I)
- 3 Lista mundial de escuelas forestales, 1977 (E/F/I)
- 3 Rev. 1. Lista mundial de escuelas forestales, 1981 (E/F/I)
- 3 Rev. 2. Lista mundial de escuelas forestales, 1986 (E/F/I)
- 4/1 La demanda, la oferta y el comercio de pasta y papel en el mundo – Vol. 1, 1977 (E F I)
- 4/2 La demanda, la oferta y el comercio de pasta y papel en el mundo – Vol. 2, 1978 (E F I)
- 5 La comercialización de las maderas tropicales, 1977 (E I)
- 6 National parks planning, 1976 (E** F I)
- 7 Actividades forestales en el desarrollo de comunidades locales, 1984 (Ar E F I)
- 8 Técnica de establecimiento de plantaciones forestales, 1978 (Ar C E F I*)
- 9 Las astillas de madera: su producción y transporte, 1978 (C E I)
- 10/1 Evaluación de los costos de extracción a partir de inventarios forestales en los trópicos – 1. Principios y metodología, 1978 (E F I)
- 10/2 Evaluación de los costos de extracción a partir de inventarios forestales en los trópicos – 2. Recolección de datos y cálculos, 1978 (E F I)
- 11 Savanna afforestation in Africa, 1977 (F I)
- 12 China: forestry support for agriculture, 1978 (I)
- 13 Precios de productos forestales 1960-1977, 1979 (E/F/I)
- 14 Mountain forest roads and harvesting, 1979 (I)
- 14 Rev. 1. Logging and transport in steep terrain, 1985 (I)
- 15 AGRIS forestal: catálogo mundial de los servicios de información y documentación, 1979 (E/F/I)
- 16 China: industrias integradas de elaboración de la madera, 1979 (E F I)
- 17 Análisis económico de proyectos forestales, 1980 (E F I)
- 17 Sup. 1. Análisis económico de proyectos forestales: estudios monográficos, 1982 (E I)
- 17 Sup. 2. Economic analysis of forestry projects: readings, 1980 (C I)
- 18 Precios de productos forestales 1960-1978, 1980 (E/F/I)
- 19/1 Pulping and paper-making properties of fast-growing plantation wood species – Vol. 1, 1980 (I)
- 19/2 Pulping and paper-making properties of fast-growing plantation wood species – Vol. 2, 1980 (I)
- 20 Mejora genética de árboles forestales, 1980 (C E F I)
- 20/2 Guía para la manipulación de semillas forestales, 1991 (E I)
- 21 Suelos de las regiones tropicales húmedas de tierras bajas – efectos causados por las especies de crecimiento rápido, 1984 (E F I)
- 22/1 Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento - Vol. 1. Estimación del volumen, 1980 (C E F I)
- 22/2 Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento - Vol. 2. Predicción del rendimiento, 1980 (C E F I)

- 23 Precios de productos forestales 1961-1980, 1981 (E/F/I)
- 24 Cable logging systems, 1981 (C I)
- 25 Public forestry administrations in Latin America, 1981 (I)
- 26 La silvicultura y el desarrollo rural, 1981 (E F I)
- 27 Manual of forest inventory, 1981 (F I)
- 28 Aserraderos pequeños y medianos en los países en desarrollo, 1982 (E I)
- 29 Productos forestales: oferta y demanda mundial 1990 y 2000, 1982 (E F I)
- 30 Los recursos forestales tropicales, 1982 (E F I)
- 31 Appropriate technology in forestry, 1982 (I)
- 32 Clasificación y definiciones de los productos forestales, 1982 (Ar/E/F/I)
- 33 La explotación maderera de bosques de montaña, 1984 (E F I)
- 34 Especies frutales forestales, 1982 (E F I)
- 35 Forestry in China, 1982 (C I)
- 36 Tecnología básica en operaciones forestales, 1983 (E F I)
- 37 Conservación y desarrollo de los recursos forestales tropicales, 1983 (E F I)
- 38 Precios de productos forestales 1962-1981, 1982 (E/F/I)
- 39 Frame saw manual, 1982 (I)
- 40 Circular saw manual, 1983 (I)
- 41 Métodos simples para fabricar carbón vegetal, 1983 (E F I)
- 42 Disponibilidades de leña en los países en desarrollo, 1983 (Ar E F I)
- 43 Ingresos fiscales procedentes de los montes en los países en desarrollo, 1987 (E F I)
- 44/1 Especies forestales productoras de frutas y otros alimentos – 1. Ejemplos de Africa oriental, 1984 (E F I)
- 44/2 Especies forestales productoras de frutas y otros alimentos – 2. Ejemplos del Asia sudoriental, 1985 (E F I)
- 44/3 Especies forestales productoras de frutas y otros alimentos – 3. Ejemplos de América Latina, 1987 (E I)
- 45 Establishing pulp and paper mills, 1983 (I)
- 46 Precios de productos forestales 1963-1982, 1983 (E/F/I)
- 47 La enseñanza técnica forestal, 1991 (E F I)
- 48 Evaluación de tierras con fines forestales, 1985 (C E F I)
- 49 Extracción de trozas mediante bueyes y tractores agrícolas, 1984 (E F I)
- 50 Changes in shifting cultivation in Africa, 1984 (F I)
- 50/1 Changes in shifting cultivation in Africa – seven case-studies, 1985 (I)
- 51/1 Studies on the volume and yield of tropical forest stands – 1. Dry forest formations, 1989 (F I)
- 52/1 Cost estimating in sawmilling industries: guidelines, 1984 (I)
- 52/2 Field manual on cost estimation in sawmilling industries, 1985 (I)
- 53 Ordenación intensiva de montes para uso múltiple en Kerala, 1985 (E F I)
- 54 Planificación del desarrollo forestal, 1984 (E)
- 55 Ordenación forestal de los trópicos para uso múltiple e intensivo, 1985 (E F I)
- 56 Breeding poplars for disease resistance, 1985 (I)
- 57 La madera de coco - Elaboración y aprovechamiento, 1986 (E I)
- 58 Cuidado y mantenimiento de sierras, 1989 (E I)
- 59 Efectos ecológicos de los eucaliptos, 1987 (C E F I)
- 60 Seguimiento y evaluación de proyectos forestales de participación, 1991 (E F I)
- 61 Precios de productos forestales 1965-1984, 1985 (E/F/I)

- 62 Lista mundial de instituciones que realizan investigaciones sobre bosques y productos forestales, 1985 (E/F/I)
- 63 Industrial charcoal making, 1985 (I)
- 64 Cultivo de árboles por la población rural, 1988 (Ar E F I)
- 65 Forest legislation in selected African countries, 1986 (F I)
- 66 Organización de la extensión forestal, 1988 (C E I)
- 67 Some medicinal forest plants of Africa and Latin America, 1986 (I)
- 68 Appropriate forest industries, 1986 (I)
- 69 Management of forest industries, 1986 (I)
- 70 Terminología del control de incendios en tierras incultas, 1986 (E/F/I)
- 71 Repertorio mundial de instituciones de investigación sobre bosques y productos forestales, 1986 (E/F/I)
- 72 El gas de madera como combustible para motores, 1993 (E I)
- 73 Productos forestales: proyecciones de las perspectivas mundiales 1985-2000, 1986 (E/F/I)
- 74 Guidelines for forestry information processing, 1986 (I)
- 75 An operational guide to the monitoring and evaluation of social forestry in India, 1986 (I)
- 76 Wood preservation manual, 1986 (I)
- 77 Databook on endangered tree and shrub species and provenances, 1986 (I)
- 78 Appropriate wood harvesting in plantation forests, 1987 (I)
- 79 Pequeñas empresas de elaboración de productos del bosque, 1990 (E F I)
- 80 Forestry extension methods, 1987 (I)
- 81 Guidelines for forest policy formulation, 1987 (C I)
- 82 Precios de productos forestales 1967-1986, 1988 (E/F/I)
- 83 Trade in forest products: a study of the barriers faced by the developing countries, 1988 (I)
- 84 Productos forestales: proyecciones de las perspectivas mundiales 1987-2000, 1988 (E/F/I)
- 85 Programas de estudios para cursos de extensión forestal, 1988 (E/F/I)
- 86 Forestry policies in Europe, 1988 (I)
- 87 Explotación en pequeña escala de productos forestales madereros y no madereros con participación de la población rural, 1990 (E F I)
- 88 Management of tropical moist forests in Africa, 1989 (F I P)
- 89 Review of forest management systems of tropical Asia, 1989 (I)
- 90 Silvicultura y seguridad alimentaria, 1991 (Ar E I)
- 91 Manual de tecnología básica para el aprovechamiento de la madera, 1990 (E F I) (Publicado solamente en la Colección FAO: Capacitación, N° 18)
- 92 Forestry policies in Europe – An analysis, 1989 (I)
- 93 Conservación de energía en las industrias mecánicas forestales, 1991 (E I)
- 94 Manual on sawmill operational maintenance, 1990 (I)
- 95 Precios de productos forestales 1969-1988, 1990 (E/F/I)
- 96 Planning and managing forestry research: guidelines for managers, 1990 (I)
- 97 Productos forestales no madereros: posibilidades futuras, 1992 (E I)
- 98 Timber plantations in the humid tropics of Africa, 1993 (F I)
- 99 Cost control in forest harvesting and road construction, 1992 (I)
- 100 Introducción a la ergonomía forestal para países en desarrollo, 1993 (E F I)
- 101 Ordenación y conservación de los bosques densos de América tropical, 1993 (E F I P)
- 102 El manejo de la investigación forestal, 1994 (E F I)

- 103 Plantaciones forestales mixtas y puras de zonas tropicales y subtropicales, 1995 (E F I)
- 104 Precios de productos forestales 1971-1990, 1992 (E/F/I)
- 105 Compendium of pulp and paper training and research institutions, 1992 (I)
- 106 Evaluación económica de las repercusiones de los proyectos forestales, 1995 (E/F/I)
- 107 Conservación de los recursos genéticos en la ordenación de los bosques tropicales - Principios y conceptos, 1993 (E/F/I)
- 108 A decade of wood energy activities within the Nairobi Programme of Action, 1993 (I)
- 109 Directory of forestry research organizations, 1993 (I)
- 110 Deliberaciones de la reunión de expertos sobre investigación forestal, 1993 (E/F/I)
- 111 Forestry policies in the Near East region: analysis and synthesis, 1993 (I)
- 112 Evaluación de los recursos forestales de los países tropicales - 1990, 1994 (E F I)
- 113 *Ex situ* storage of seeds, pollen and *in vitro* cultures of perennial woody plant species, 1993 (I)
- 114 Análisis de impactos de proyectos forestales: problemas y estrategias, 1995 (E F I)
- 115 Forestry policies of selected countries in Asia and the Pacific, 1993 (I)
- 116 Les panneaux à base de bois, 1993 (F)
- 117 Mangrove forest management guidelines, 1993 (I)
- 118 Biotechnology in forest tree improvement, 1994 (I)
- 119 Les produits bois reconstitués, liants et environnement, 1994 (F)
- 120 Decline and dieback of trees and forests - A global overview, 1994 (I)
- 121 Ecología y enseñanza rural - Manual para profesores rurales del área andina, 1994 (E I)
- 122 Sistemas de realización de la ordenación forestal sostenible, 1995 (E I)
- 123 Enseñanza forestal - Nuevas tendencias y perspectivas, 1994 (E F I)
- 124 Forest resources assessment 1990, Global synthesis, 1995 (E F I)
- 125 Precios de productos forestales 1973-1992, 1995 (E/F/I)
- 126 Cambio climático, bosques y ordenación forestal - Una visión de conjunto, 1995 (I)
- 127 Valuing forests: context, issues and guidelines, 1995 (I)
- 128 Forest resources assessment 1990 - Tropical forest plantation resources, 1995 (I)

Disponibilidad: diciembre de 1995

Ar - Árabe	Multil - Multilingüe
C - Chino	* Agotado
E - Español	** En preparación
F - Francés	
I - Inglés	
P - Portugués	

Los cuadernos técnicos de la FAO pueden obtenerse en los puntos de venta autorizados de la FAO, o directamente en la Sección de Distribución y Ventas, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia.

no: 11336

$$\frac{146 + \dots}{\dots}$$

176

