



**CRISTINA GARCÍA FERNÁNDEZ**

**EL CAMBIO CLIMÁTICO:  
ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS**

UNIVERSIDAD EUROPEA-CEES  
Departamento de Economía Aplicada  
Documentos de Trabajo

2 / 01



**UNIVERSIDAD EUROPEA-CEES**

**Documentos de Trabajo 2 / 01**

*El cambio climático: análisis de los impactos*

Villaviciosa de Odón (Madrid), mayo de 2001

© 2001 Cristina García Fernández

© 2001 Universidad Europea-CEES Ediciones

**Diseño de la colección y dirección editorial:**

Departamento de Publicaciones e Intercambio Científico  
de la UEM-CEES

# ÍNDICE

<b>Introducción</b>	<b>4</b>
<b>1. Diversidad biológica: ecosistemas terrestres y acuáticos</b>	<b>5</b>
1.1. Bosques	6
1.1.1. La deforestación	6
1.1.2. La influencia de los bosques en el clima	9
1.1.3. La repoblación forestal	9
1.2. Desiertos y desertificación	10
1.3. Elevación del nivel del mar y fusión de los casquetes polares	12
1.3.1. Regiones de montaña	12
1.3.2. Nivel del mar	13
<b>2. Impactos en la agricultura y el suelo</b>	<b>15</b>
<b>3. Recursos acuáticos</b>	<b>17</b>
<b>4. Infraestructura y salud</b>	<b>19</b>
<b>5. Revisión de los estudios de impactos más importantes</b>	<b>21</b>
<b>6. Conclusiones</b>	<b>26</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>29</b>
<b>Notas del lector</b>	<b>32</b>

# EL CAMBIO CLIMÁTICO: ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS

CRISTINA GARCÍA FERNÁNDEZ  
Universidad Europea-CEES  
Departamento de Economía Aplicada

## INTRODUCCIÓN

*En este documento analizamos los impactos globales más importantes que podrían tener lugar en fechas relativamente tempranas en el caso de que no se tomen las medidas adecuadas contra el cambio climático con la mayor celeridad posible. La última parte revisa los estudios más recientes elaborados en países desarrollados y en desarrollo, siendo estos últimos —al menos así lo demuestran los estudios— los más vulnerables a los posibles cambios del clima.*

*Asumiendo que el calentamiento global ocurrirá realmente a mediados del siglo XXI, son posibles dos tipos de adaptación: la adaptación reactiva, que consistirá en tomar medidas una vez que se sientan realmente los impactos del cambio climático, y la adaptación anticipatoria, política que consiste en dar los pasos adecuados antes de que el clima haya cambiado de forma irreversible. Esta última minimizaría cualquier efecto negativo potencial que pudiera ocurrir y prepararía a la sociedad y a la naturaleza para adaptarse a los cambios de forma rápida y sin incurrir en grandes costes. Ahora bien: una vez que estos impactos hayan tenido lugar, no quedará más solución que emplear políticas de adaptación reactiva.*

*En la tabla 1 mostramos, de forma desagregada, los recursos más vulnerables al cambio climático y los impactos que pueden sufrir.*

TABLA 1. CAMBIO CLIMÁTICO:  
RECURSOS MÁS VULNERABLES Y POSIBLES IMPACTOS

Recurso	Vulnerabilidad
Agricultura	Rendimiento de las cosechas Erosión del suelo
Bosques	Cambio en la composición de las especies Cambio en la distribución geográfica
Zonas costeras	Inundación; pérdida de tierra
Pesquerías	Cambio en la composición de los stocks Cambio en su localización
Áreas protegidas	Irrupción o pérdida del hábitat Invasión de nuevas especies
Recursos acuáticos	Alteración de la oferta Cambios en la frecuencia de inundaciones y sequías
Salud humana	Cambios bruscos de temperatura (estrés del calor o del frío) Alteraciones de las enfermedades infecciosas
Demanda de energía y producción	Aumento de la demanda de energía en verano y disminución en invierno Cambios en la oferta

## 1. DIVERSIDAD BIOLÓGICA: ECOSISTEMAS TERRESTRES Y ACUÁTICOS

Los ecosistemas contienen todas las reservas de diversidad genética y especies de la Tierra y nos brindan muchos bienes y servicios que son esenciales para los individuos y las sociedades. Estos bienes y servicios incluyen:

- a) alimentos, medicina y energía;
- b) procesamiento y almacenamiento del carbono y otros nutrientes;
- c) asimilación de residuos, purificación y regulación del agua, control de los desbordamientos, de la degradación del suelo y de la erosión; y
- d) oportunidades para la recreación y el turismo.

La composición y distribución geográfica de muchos ecosistemas cambiará cuando las especies individuales respondan a los cambios del clima; seguramente disminuirá la diversidad biológica y también los bienes y servicios que los ecosistemas ofrecen a la sociedad. Algunos sistemas ecológicos puede que no alcancen el equilibrio pasados muchos siglos desde que el clima haya cambiado.

## **1.1. Bosques**

Siguiendo al IPCC (1995a), los modelos climáticos estiman que un incremento de 1 °C de la temperatura media global es suficiente para provocar cambios en climas regionales que afectarán al crecimiento y a la capacidad de regeneración de los bosques en muchas regiones. En algunos casos, esto alterará la función y composición de los bosques de forma significativa. Los modelos calculan que, ante una duplicación del CO<sub>2</sub> que altere las condiciones de equilibrio, se producirán variaciones en la temperatura y disponibilidad del agua que harán que una parte importante de las áreas forestales existentes en el mundo sufra cambios en los diversos tipos de vegetación, dándose los mayores impactos en las latitudes altas y los menores en las bajas.

Se espera que el cambio climático tenga lugar a un ritmo muy rápido con relación a la velocidad con la que las especies forestales crecen, se reproducen y restablecen por sí mismas. Por tanto, la composición de las especies forestales probablemente cambiará; tipos enteros de bosques podrían desaparecer, mientras que aparecerían nuevas especies y, por tanto, sería posible que surgieran nuevos ecosistemas. Además podrían liberarse grandes cantidades de carbono a la atmósfera durante la transición de un tipo de bosque a otro, porque la tasa a la que se pierde el carbono durante el tiempo de alta mortalidad de un bosque es mayor que la tasa a la que es absorbido durante la etapa de crecimiento del bosque.

### ***1.1.1. La deforestación***

El mundo está en peligro de perder sus bosques. Las selvas húmedas tropicales, especialmente las de la cuenca del Amazonas en Sudamérica, están siendo destruidas a una velocidad de unos 12 millones de hectáreas al año. Si la deforestación mundial continúa al ritmo actual, los bosques tropicales de todo

el planeta y sus habitantes habrán dejado de existir a mediados del siglo XXI. Los bosques están desapareciendo debido a la agricultura minifundista de tala y quema y a la producción extensiva de madera.

Plantar más árboles es un método para reducir la acumulación de dióxido de carbono de la atmósfera. Si se duplicara el crecimiento anual de los bosques, los países con mayor consumo de combustibles fósiles podrían retrasar una década o más el comienzo del calentamiento del efecto invernadero. No obstante, se tendría que detener inmediatamente la destrucción de las reservas de selvas húmedas tropicales.

Desde la aparición de la agricultura, la mitad de los bosques de nuestro planeta ha sido talada para abrir paso a la tierra agrícola. Las selvas húmedas están siendo destruidas a una velocidad de unos 130.000 kilómetros cuadrados por año. Aproximadamente un 75% de esta deforestación la llevan a cabo personas sin tierra en una búsqueda desesperada de alimentos.

Las selvas húmedas se dan principalmente sobre un suelo delgado y pobre en nutrientes. En el tiempo de vida de un árbol amazónico medio, la capa de suelo arrastrada por la lluvia puede llegar a alcanzar la mitad de la profundidad de las raíces. Cuando se quema un árbol, las cenizas ayudan a fertilizar el suelo, pero después de un par de años de agricultura intensiva, se extraen los nutrientes de ese suelo y los agricultores se ven forzados a abandonar sus explotaciones. Entonces se cortan más árboles para obtener más tierra agrícola.

El proceso de la deforestación está ocurriendo en todo el mundo, aunque es más radical en la selva del Amazonas en Brasil, donde cada año se destruyen unos 8 millones de hectáreas de bosques mediante el proceso de tala y quema.

Tras haberse extraído los nutrientes del suelo, la tierra es abandonada. Cuando llegan las lluvias, las riadas se llevan el suelo desnudo, dejando a la vista la roca madre. Sin el suelo, la selva húmeda no tiene ninguna posibilidad de recuperarse. Gracias a los elevados índices de transpiración de la vegetación densa, los bosques generan alrededor de la mitad de las precipitaciones que son el sustento de la vida. Las pautas de precipitación están cambiando porque grandes extensiones de selvas húmedas están siendo destruidas. Una consecuencia posible sería que amplias zonas se convirtieran en desiertos artificiales.

Ni siquiera los bosques templados de las latitudes más elevadas están a salvo de la destrucción. El índice de crecimiento y la salud general de los bosques del norte de Estados Unidos, Canadá oriental y muchas partes de Europa han ido decayendo durante las dos últimas décadas. Hay un conjunto de factores que son la causa de este deterioro; el peor de todos es la lluvia ácida. La pre-

cipitación ácida escurre hasta los cauces y los lagos y se infiltra en el suelo; daña las raíces de las plantas y extrae los valiosos nutrientes del suelo. El contacto directo de los ácidos sobre las hojas destruye también los árboles, así como los cultivos agrícolas.

Los satélites orbitales poseen una perspectiva única que permite estudiar la Tierra. Gracias a la observación continuada, se pueden detectar los cambios de las masas forestales. Además, la velocidad de deforestación puede evaluarse con precisión comparando imágenes de satélite de fechas distintas. Los diferentes tipos de vegetación tienen signos especiales y únicos que se pueden usar para la identificación de grandes áreas.

Generalmente, los problemas de la vegetación se muestran por sí mismos en los cambios de la estructura de la hoja, el contenido de clorofila y el contenido de agua. Estos cambios pueden detectarse mediante imágenes de satélites. La vegetación sana absorbe la luz roja y refleja la luz infrarroja, mientras que el suelo desnudo refleja la luz roja y absorbe la infrarroja. Cuando se tala una porción de bosque, se ve el cambio en la imagen del satélite con claridad. Además de la producción de cartografía y el seguimiento del deterioro y la destrucción de los bosques, en el futuro los sistemas de satélite podrían proporcionar la información que tanto necesitamos sobre las causas específicas de la deforestación, como enfermedades, plagas, sequías y actividades de los seres humanos.

La biota, es decir, todos los seres vivos de la Tierra, y el humus, que es la materia orgánica sin vida del suelo, contienen 40 veces más carbono que la atmósfera. La tala de los bosques, la expansión de la agricultura y la destrucción de las zonas húmedas acaban con los hábitats de la vida natural y aceleran la degradación del humus; se emiten así grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera. Las tierras agrícolas, que producen dióxido de carbono cuando están cultivadas, no llegan a almacenar tanto carbono como los bosques a los que reemplazaron. El clareo de la tierra para la agricultura, especialmente en los trópicos, es la mayor fuente del carbono emitido a la atmósfera desde la biota y desde el suelo.

Los bosques dan lugar a más fotosíntesis por unidad de superficie que cualquier otra forma de vegetación, asimilando de 10 a 20 veces más carbono por hectárea que la tierra de cultivos o que la de pastos, y contienen tanto carbono como la atmósfera entera. La deforestación proporciona alrededor de un quinto de la cantidad total de dióxido de carbono y la mitad de la cantidad de metano liberado en la atmósfera. Con el retroceso de los bosques, los depósitos de carbono de los árboles se liberan a la atmósfera y se disminuye la capacidad

de los mencionados bosques para absorber el exceso de dióxido de carbono atmosférico. Todo esto puede estimular aún más el calentamiento del efecto invernadero.

### *1.1.2. La influencia de los bosques en el clima*

Los bosques ejercen un fuerte control sobre el clima. La pérdida de bosques aumenta la superficie de albedo, de modo que se refleja más radiación solar hacia el espacio. Esta pérdida de energía solar podría cambiar las pautas de precipitación, con un descenso subsiguiente de la lluvia, especialmente en las selvas húmedas. Tal cambio podría causar problemas y hacer que los árboles fueran más vulnerables a las epidemias. El hollín de los incendios forestales absorbe la luz solar, calentando la atmósfera. Esto produce un desequilibrio de temperaturas y da lugar a que la temperatura aumente con la altitud, que es justo lo contrario de lo que debería ocurrir. Grandes cantidades de hollín en la atmósfera, producidas por incendios forestales masivos, podrían producir pautas meteorológicas anormales por todo el mundo.

Además, la deforestación puede ser una amenaza para la capa de ozono. La gran cantidad de calor que producen los árboles al arder combina el nitrógeno con el oxígeno formando óxido nitroso. Si llegaran a la atmósfera superior cantidades apreciables de este gas, destruirían la capa de ozono.

### *1.1.3. La repoblación forestal*

Uno de los modos de combatir el efecto invernadero consiste en plantar más árboles. Los nuevos árboles absorberían el exceso de dióxido de carbono en la atmósfera. Los árboles jóvenes, sin embargo, no absorben tanto dióxido de carbono como los árboles maduros a los que sustituyen.

En la mayor parte del mundo, la deforestación ha destruido la capa del suelo hasta tal extremo que ya no es posible replantar árboles. Sin embargo, hay muchos suelos degradados por todo el planeta que se podrían replantar con árboles sin entrar en conflicto con la agricultura.

A medida que la Tierra se va calentando y los bosques se secan, los incendios forestales pueden arrasarse grandes zonas de valiosos terrenos. Un incendio puede tener efectos tales como pérdida de vidas humanas, viviendas, cultivos y

explotaciones. Pero la consecuencia más grave y de mayor trascendencia de un incendio, desde el punto de vista ambiental, es la erosión, la pérdida de suelo fértil que puede tener lugar después. El suelo es la base de todo el ecosistema. Sin él no es posible que haya vegetación de ninguna clase, ni infiltración de agua, ni explotaciones agrícolas, ganaderas o de otro tipo. Por otra parte, la pérdida de suelo es irreversible, ya que su formación es tan lenta que, a escala humana, resulta prácticamente nula.

Como consecuencia de la pérdida de suelo, se altera drásticamente el ciclo hídrico. La infiltración disminuye y, con ello, menguan las reservas hídricas subterráneas, que constituyen los acuíferos de los que depende buena parte del consumo agrícola y urbano de las zonas llanas litorales. El agua que no circula hacia las capas profundas resbala por las pendientes, multiplicando su acción erosiva. Esta suma de efectos conduce, en conjunto, al fenómeno denominado *desertificación*, es decir, a la intensificación y extensión de las condiciones de desierto debidas a causas naturales y a prácticas antrópicas.

Si las temperaturas mundiales subieran a una velocidad demasiado rápida, los bosques no podrían adaptarse al movimiento hacia latitudes más elevadas de las zonas climáticas, lo que produciría un declive aún mayor de los bosques del planeta.

## 1.2. Desiertos y desertificación

De acuerdo con los datos del IPCC (1995b), es muy probable que los desiertos se vuelvan más extremos, en el sentido de que se tornarán más calientes, pero no significativamente más húmedos. El aumento de las temperaturas podría ser una amenaza para los organismos vivos que se encuentran ya al límite de su tolerancia de calor. La desertificación, tal y como la define la Convención de Naciones Unidas para Combatir la Desertificación, es la degradación del suelo en áreas áridas, semiáridas y secas que resulta de varios factores, incluyendo las variaciones climáticas y las actividades humanas. La desertificación puede tornarse irreversible si el medio ambiente se vuelve más seco y el suelo se degrada todavía más por la acción de la erosión y la condensación.

La superficie de la Tierra se compone aproximadamente de un tercio de desiertos; un tercio de bosques, sabanas y zonas húmedas; y un quinto de hielo glacial y tundra. El resto está ocupado por los seres humanos. Los desiertos no son sólo las zonas más calientes y secas, sino que además son los medios más

estériles de la tierra. Únicamente las plantas y los animales más fuertes sobreviven en esas zonas áridas. Técnicamente se define el desierto como una zona que recibe menos de 254 milímetros de precipitación anual (Erickson 1992).

La desertificación es un proceso de degradación del medio. Superficies de tierra cada vez mayores se están convirtiendo en desiertos debido a los procesos naturales y a las actividades del hombre. Ello se traduce en la pérdida de la capa del suelo, que es lo que se conoce como *denudación*. Cuando la Tierra pierde las arcillas y los limos finos que forman la capa de suelo, sólo quedan las arenas más gruesas. Si esta denudación abarca un área considerable, se crea un desierto artificial. El problema se radicaliza cuando la Tierra sufre riadas, índices más altos de erosión y tormentas de polvo, fenómenos todos ellos que barren las arenas de un lado a otro. La desertificación se da en todo el mundo, pero está más arraigada en África Central, donde el desierto del Sahara está avanzando sobre lo que antes eran fértiles tierras agrícolas. Cada año se crean unos 38.000 kilómetros cuadrados de nuevo desierto. Un 10% de los desiertos de la Tierra se componen de dunas arenosas que se desplazan por la acción del viento.

Además, el proceso de desertificación se autoperpetúa. Las arenas brillantes reflejan la luz solar, lo que produce zonas de altas presiones que impiden la llegada de los sistemas meteorológicos y contribuyen a una reducción de las lluvias. La tierra denudada también sufre riadas y tormentas de polvo que transportan los sedimentos fuera de la zona. Entre un tercio y la mitad de las tierras fértiles del planeta se han vuelto improductivas debido a la erosión y a la desertificación.

La desertificación tiene un efecto negativo sobre el balance calorífico de la Tierra, al cual se debe la estabilización de las temperaturas climáticas generales. Una atmósfera inestable produciría más turbulencias, haciendo que peligrosas tormentas recorrieran el planeta. Los intentos que se han llevado a cabo para producir lluvias adicionales o para controlar la ira de la naturaleza usando programas de modificación de la meteorología pueden acabar siendo ineficaces.

La mayoría de los grandes desiertos se encuentran en los subtrópicos, en una ancha banda que discurre entre los 15 y los 40 grados de latitud al norte y al sur del Ecuador (ver tabla 2). En el hemisferio Norte, una serie de desiertos se prolonga desde la costa occidental de África del Norte, a través de la península de Arabia e Irán, hasta la India y China. En el hemisferio Sur, una banda de desiertos atraviesa África del Sur, Australia central y el centro occidental de Sudamérica.

TABLA 2. LOS GRANDES DESIERTOS

Desierto	Situación	Tipo	Área (en miles de km <sup>2</sup> )
Sahara	África norte	Tropical	9.100
Australiano	Interior oeste	Tropical	3.380
Árabe	Península Árabe	Tropical	2.600
Turkestán	Antigua URSS, centro oeste	Continental	1.950
Norteamérica	Nuevo México	Continental	1.300
Patagonia	Argentina	Continental	676
Thar	India/Paquistán	Tropical	598
Kalahari	África suroeste	Litoral	572
Gobi	Mongolia/China	Continental	520
Takla Makan	Sinkiang, China	Continental	520
Iraní	Irán/Afganistán	Tropical	390
Atacama	Perú/Chile	Litoral	364

FUENTE: Erickson (1992).

### 1.3. Elevación del nivel del mar y fusión de los casquetes polares

Los modelos de circulación general (GCMs) estiman que entre un tercio y un medio de los glaciares de montaña podría desaparecer a lo largo de los próximos cien años (IPCC 1995b). La reducida extensión de los glaciares y del grosor de la cubierta de nieve también podría afectar a la distribución estacional del flujo del agua de los ríos y de la oferta de agua para la generación de energía hidroeléctrica y la agricultura. Unos cambios hidrológicos que se anticipen, junto a reducciones de la extensión y profundidad del *permafrost* (capa de hielo permanente), podrían conducir a daños importantes en la infraestructura, a una liberación adicional de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y a cambios en otros procesos que den lugar a una mayor emisión de metano.

#### 1.3.1. Regiones de montaña

Según la mayor parte de los científicos del IPCC, la disminución de la extensión de los glaciares de montaña, *permafrost* y cubierta de nieve originada por un clima más cálido afectará a los sistemas hidrológicos, a la estabilidad del suelo y a los sistemas socioeconómicos relacionados. La distribución altitudinal de la vegetación se desplazará hacia mayores altitudes; algunas especies po-

drían extinguirse debido a que desapareciera su hábitat o su capacidad migratoria. Muchos recursos de estas zonas de montaña, tales como alimentos y combustibles, pueden verse afectados en muchos países en desarrollo, y ello podría perjudicar, sobre todo, a las poblaciones indígenas que habitan esas regiones.

### 1.3.2. Nivel del mar

El cambio climático producirá alteraciones en el nivel del mar (aumentando el nivel medio) y también podría conducir a alteraciones en la circulación oceánica, debido a la mezcla vertical de las aguas y a la reducción de la cubierta de hielo marino. Como resultado, podrían verse afectadas la disponibilidad de nutrientes, la productividad biológica, la estructura y funciones de los ecosistemas marinos y la capacidad de almacenar calor y carbono. Todo ello originaría realimentaciones importantes en el sistema climático. También produciría impactos notables en las regiones costeras, pesquerías, turismo y ocio, transporte y comunicación. Los datos paleoclimáticos y los experimentos realizados con modelos sugieren que pueden darse cambios abruptos en el clima si el flujo de agua fría que procede del movimiento y derretimiento del hielo marino debilita la circulación global (IPCC 1995b).

Los impactos ecológicos del aumento del nivel del mar pueden concretarse en: *a)* aumento de la erosión de la línea de costa; *b)* intensificación de las inundaciones costeras y pérdida de tierra; *c)* inundaciones de zonas húmedas costeras y tierras bajas; *d)* aumento de la salinidad de estuarios y acuíferos; *e)* alteración de los niveles de las mareas en rías y bahías; *f)* cambios en las localizaciones de los depósitos de sedimentos de los ríos; y *g)* cubrimiento de las barreras de coral.

El ritmo de elevación del nivel del mar parece estar incrementándose en una proporción diez veces superior a la de hace cuarenta años. En la mayoría de las regiones templadas y tropicales, el mar está subiendo actualmente seis milímetros cada año (Erickson 1992). No obstante, la medición de los cambios pasados y presentes del nivel del mar es todavía muy complicada. Existen muchas fuentes de errores, como la distribución geográfica con distintos niveles de las zonas que se miden. Las predicciones sobre el aumento del nivel del mar están basadas en los resultados de los modelos de circulación general, los cuales, de acuerdo con el IPCC, indican que, ante un aumento del calentamiento de la superficie terrestre (entre 1,5 y 4,5 °C), el nivel del mar podría elevarse hasta

unos 65 centímetros adicionales para el año 2100. Sin embargo, no se sabe con certeza a qué velocidad se darán estos aumentos<sup>1</sup>. El nivel del mar puede subir de dos formas: por la expansión térmica del agua del océano (se incrementa su volumen total) y por la disminución de las cubiertas de hielo marino y de los glaciares de montaña. La mayor parte de la subida parece deberse a la fundición de las superficies heladas de la Antártida Occidental y Groenlandia, lo que es el resultado de más de una década de calentamiento mundial.

El 3% del agua de la Tierra se encuentra atrapado en los casquetes polares. Estos, cubren, como media, un 7% de la superficie total del planeta. Casi el 90% de todo el hielo del mundo se encuentra en la Antártida. La Antártida vierte cada año cerca de un billón de toneladas de hielo a los mares que la rodean<sup>2</sup>. Un clima más cálido, producido por un aumento del dióxido de carbono atmosférico, podría incluso producir efectos extremos, como hacer que la inestable superficie de hielo de la Antártida Occidental se desprendiera y cayera al mar, elevando los niveles mundiales e inundando las zonas costeras (Erickson 1992).

Las tendencias de los niveles del mar se calculan a partir de la toma de datos de las mareas en estaciones repartidas por todas las costas del planeta. Las mediciones del tamaño del mar polar de hielo, hechas por satélites, muestran que este se ha reducido en un 6% de 1973 a 1990. Este es el primer aviso de que la elevación de las temperaturas mundiales ha empezado a calentar el océano. El área total de la superficie de hielo parece que no ha variado significativamente, pero la distancia que alcanza la masa de hielo desde los polos ha disminuido (Erickson 1992). Al ir calentándose el océano, el hielo puede derretirse en zonas más próximas a los polos y reducir aún más el perímetro de mar helado.

Como consecuencia, el mar podría elevarse hasta casi un metro y medio a mediados del siglo XXI, dando lugar a la desaparición de grandes franjas del litoral y arrecifes poco profundos. Deltas fértiles, zonas húmedas y ciudades costeras sufrirán las consecuencias negativas del desbordamiento marino<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> Debemos advertir que todos los datos que se ofrecen están basados en los resultados que arrojan los modelos más avanzados (modelos de circulación del clima) y en datos estadísticos y muestras de laboratorio que revelan cambios en el pasado.

<sup>2</sup> No obstante, algunos estudios del IPCC sugieren que los cambios en las precipitaciones (causados por el calentamiento) aumentarán la acumulación de nieve en la Antártida, hecho que podría ayudar a moderar la elevación neta del nivel del mar.

<sup>3</sup> La última glaciación empezó hace unos 100.000 años y acabó hace unos 10.000, cuando empezó nuestro actual periodo interglaciar. Las temperaturas de este alcanzaron su máximo hace unos 6.000 años, durante el *Óptimo Climático*. Después, las temperaturas descendieron y el planeta se volvió más seco. Los desiertos actuales se empezaron a formar hace unos 4.000 años. Hace alre-

## 2. IMPACTOS EN LA AGRICULTURA Y EL SUELO

En la actualidad, estamos perdiendo suelo a un ritmo de 25.000 millones de toneladas al año, esto es, una velocidad más de dos veces superior a la de la naturaleza en reproducirlo. Las prácticas agrarias antieconómicas son la causa principal de la pérdida de la capa fértil del suelo y, por tanto, de la erosión. La consecuencia inmediata es que la producción mundial de alimentos per cápita descenderá bruscamente si la pérdida de la capa de suelo continúa al ritmo actual.

Los índices de erosión varían dependiendo de la topografía, la cantidad de precipitación, el tipo de roca, el tipo de suelo y la cantidad de cubierta vegetal. Los esfuerzos para aumentar la producción mundial de cultivos a través de la deforestación, el regadío, el uso de fertilizantes artificiales, la ingeniería genética y la mejora de las técnicas agrícolas acabarán siendo ineficaces si se pierde la capa de suelo. El proceso de pérdida de dicha capa de suelo puede explicarse de la siguiente manera. El perfil del suelo se divide en dos horizontes, uno superior y otro inferior. El horizonte superior es una capa fina, cuya profundidad oscila entre unos pocos centímetros y un metro. La mayor parte de los nutrientes del suelo se encuentra en esta zona. El horizonte inferior tiene un suelo más pobre. A medida que la parte superior se desgasta y la erosión hace aparecer la capa inferior en la superficie, el potencial de escorrentía y de erosión aumenta. La capa inferior del suelo es, por lo general, incapaz de mantener vegetación.

Muchos demógrafos opinan que el planeta ha alcanzado ya su máxima capacidad de sustento, que es la capacidad de la tierra para alimentar a la pobla-

---

dedor de 1.000 años, la Tierra se volvió a calentar durante lo que se conoce como el *Máximo Climático Medieval*. Quinientos años después, el mundo se sumergió en la *Pequeña Edad de Hielo*, que duró unos 350 años. Luego, el planeta se calentó otra vez hasta 1938, se fue enfriando hasta 1976 y en la actualidad parece estar en un periodo cálido. Estas variaciones de las temperaturas fueron resultado principalmente de las variaciones climáticas naturales y estaban fuera de la influencia del hombre. La atmósfera respondió al calentamiento añadido expandiéndose, proporcionando un área más grande desde la que se pudiera radiar el exceso de calor hacia el espacio, enfriándose así, aún más, la atmósfera superior. De acuerdo con la teoría de las variaciones orbitales, así como con la evidencia geológica que proporcionan los sedimentos depositados en el corazón de los fondos oceánicos y el crecimiento de los corales antiguos, la próxima glaciación se está retrasando. Las concentraciones de dióxido de carbono del periodo interglaciario que precedió a la última glaciación eran superiores a las actuales, siendo aquél más cálido que el actual. Las temperaturas superiores del mar derritieron los casquetes polares y provocaron una subida de los niveles de los mares hasta unos seis metros por encima de los actuales. Sin embargo, esto no impidió el inicio de la última glaciación, lo que sugiere que la actual tendencia de recalentamiento mundial podría, de hecho, activar el principio de una nueva glaciación (Erickson 1992).

ción que crece rápidamente. Los países líderes en la exportación de alimentos tienen ya la mayor parte de su tierra agrícola útil en producción. Debido a la presión creciente sobre el aumento de producción de alimentos, se han ido cultivando campos en barbecho, tierras de baja calidad, marginales y frágiles, lo que ha ido desgastando el suelo rápidamente. Los intentos de aprovechar los débiles suelos de las selvas húmedas han sido inadecuados. Además, el exceso de riego también está destruyendo grandes cantidades de hectáreas, a causa de la salinización de la capa superior del suelo.

La pérdida de vegetación altera las propiedades reflectantes del suelo y reduce la cantidad de dióxido de carbono que la fotosíntesis absorbe de la atmósfera. La destrucción de bosques y de zonas húmedas (selvas tropicales), la expansión de la agricultura y la quema de combustibles fósiles liberan a la atmósfera grandes cantidades de carbono. La acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera está provocando un recalentamiento general de la Tierra. El aumento de las temperaturas podría afectar al clima drásticamente y cambiar la distribución mundial de las precipitaciones, produciendo sequías en algunas zonas y humedad en otras áreas del planeta. La comunidad científica no conoce con exactitud qué zonas serán las más secas y cuáles las más lluviosas, pero las predicciones de los modelos apuntan a que las regiones que se localizan en una franja de 30 grados al norte y sur del Ecuador deben esperar grandes cambios en la distribución de las precipitaciones mientras el planeta continúe calentándose. Las áreas centrales de los continentes, que normalmente sufren sequías sólo de forma ocasional, podrían convertirse en tierras baldías permanentemente secas (Tangley 1988).

El informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC 1995a) afirma que el cambio del clima traerá consigo alteraciones en el rendimiento de las cosechas y en la productividad entre las distintas regiones y localidades, lo que dará lugar a cambios en los patrones de producción. Se prevé que la productividad aumente en algunas zonas (latitudes altas) y disminuya en otras (latitudes medias y bajas), especialmente en los trópicos y subtrópicos, regiones estas últimas donde el aumento de la temperatura puede dañar seriamente la producción, si las lluvias cesan y el calor se acentúa. Las poblaciones de estas regiones pueden sufrir las consecuencias del hambre (África Subsahariana; sur, este y sudeste de Asia; áreas tropicales de América Latina; algunas islas del Pacífico).

En principio, los mayores niveles de CO<sub>2</sub> deberían estimular la fotosíntesis en algunas plantas; una duplicación del CO<sub>2</sub> puede incrementar el ritmo de

la fotosíntesis entre un 30 y un 100% —“efecto de fertilización del CO<sub>2</sub>” — (Parry 1990). Los experimentos de laboratorio confirman que cuando las plantas absorben más carbono, crecen más deprisa<sup>4</sup>.

Se espera que las temperaturas medias experimenten un mayor aumento cerca de los polos que cerca del Ecuador, lo que hará que el cambio de las zonas climáticas sea más pronunciado en las latitudes altas. Además, las cosechas para las que la temperatura sea un factor limitativo pueden experimentar periodos de crecimiento más largos. Por ejemplo, en las praderas canadienses, la estación de crecimiento puede alargarse en diez días por cada grado que aumente la temperatura (Parry 1990).

Por otra parte, mayores periodos de condiciones climáticas extremas podrían dañar algunas cosechas, negando así completamente el aumento potencial de la productividad a través del efecto de fertilización del dióxido de carbono<sup>5</sup>. Los bordes polares de las zonas agrícolas de latitud media —norte de Canadá, Escandinavia, Rusia y Japón en el hemisferio Norte, y sur de Chile y Argentina en el hemisferio Sur— podrían beneficiarse del efecto combinado que producirían las altas temperaturas y la fertilización del CO<sub>2</sub>. Pero el terreno accidentado y la pobre calidad del suelo de estas zonas hacen prever que ese efecto no será suficientemente amplio para compensar las pérdidas de producción de las regiones más productivas. Más adelante se ofrece un resumen de los estudios de impactos más recientes, donde además se estiman los costes que estos producirán en términos de pérdida de ingresos.

### 3. RECURSOS ACUÁTICOS

El cambio climático conducirá a una intensificación del ciclo hidrológico global y puede tener grandes impactos sobre los recursos acuáticos regionales. Un cambio en el volumen y distribución del agua afectará a la oferta del agua subterránea y de la superficie, utilizadas ambas para fines domésticos e indus-

---

<sup>4</sup> Esto es particularmente cierto para las plantas C<sub>3</sub>, llamadas así porque el producto de sus primeras reacciones bioquímicas durante la fotosíntesis tiene tres átomos de carbono (trigo, arroz, soja, etc.).

<sup>5</sup> Por ejemplo, durante la prolongada sequía que padeció EEUU en 1988, la producción de maíz cayó en un 40% y, por primera vez desde 1930, el consumo de grano excedió a la producción.

triales, irrigación, generación de energía hidroeléctrica, navegación, ecosistemas acuáticos, así como para fines de recreación.

Los cambios en la cantidad total, intensidad y frecuencia de precipitaciones que tendrán lugar con el cambio climático afectarán directamente a la magnitud y cronología del curso y disponibilidad del agua y la intensidad de los desbordamientos e inundaciones. No obstante, de momento no podemos asegurar cuáles serán los cambios regionales específicos que se producirán. Según el IPCC, los cambios relativamente pequeños de la temperatura y de las precipitaciones, junto con otros efectos no lineales como la evapotranspiración y humedad del suelo, pueden dar lugar a grandes cambios del curso y disponibilidad del agua, especialmente en las regiones áridas y semiáridas. Las regiones situadas en latitudes altas recibirán mayor cantidad de agua, por la intensificación de las precipitaciones, mientras que en las latitudes más bajas se espera lo contrario, debido al efecto combinado de la mayor evapotranspiración y disminución de las precipitaciones. Por otra parte, una mayor intensidad de las lluvias tenderá a incrementar la cantidad de agua y, por lo tanto, el riesgo de desbordamiento.

La cantidad y calidad de los recursos acuáticos constituye, hoy día, un serio problema en muchas regiones, entre las que se encuentran las zonas costeras, los deltas y las islas pequeñas, zonas o países especialmente vulnerables a cualquier reducción de la disponibilidad de agua. Esta suele caer por debajo de los 1000 m<sup>3</sup> por persona y año en un gran número de países (por ejemplo, Kuwait, Jordania, Israel, Ruanda, Somalia, Argelia, Kenia), o se espera que se sitúe por debajo de ese límite en las próximas décadas (Libia, Egipto, Sudáfrica, Irán, Etiopía).

Los impactos del cambio climático dependerán de las condiciones de partida de la oferta de agua y de la habilidad con la que la gestión de los recursos acuáticos responda no sólo al cambio climático, sino también al crecimiento de la población y a los cambios de la demanda, de la tecnología y de las condiciones socioeconómicas, institucionales y legislativas.

Algunas de las opciones que se plantean para disminuir el efecto de los impactos climáticos sobre los recursos hídricos incluyen una gestión más eficiente de los recursos existentes y de la infraestructura; disposiciones institucionales que limiten la demanda futura y promuevan la conservación; mejora del control y los sistemas de previsión de desbordamientos, inundaciones y sequías; rehabilitación de las cuencas de los ríos, especialmente en los trópicos; y construcción de nuevas reservas de capacidad para poder capturar y almacenar los excesos de agua que se produzcan por la alteración de los patrones de las tormentas o el derretimiento de la nieve.

#### 4. INFRAESTRUCTURA Y SALUD

El cambio climático y el consecuente aumento del nivel del mar pueden ocasionar impactos negativos en los sectores energético, industrial y de transporte; en los asentamientos humanos; y en las aseguradoras, turismo, cultura y sistemas de valores. Pero, en general, la sensibilidad de los citados sectores energético, industrial y de transporte es relativamente baja, si la comparamos con la del sector agrario o los ecosistemas naturales. No obstante, esos sectores no están exentos de experimentar cambios ante los acontecimientos climáticos adversos. Entre los sectores y actividades que más pueden verse afectados por el cambio climático se encuentran el agroindustrial, la demanda de energía, la producción de energía renovable —como la electricidad y la biomasa—, la construcción, las infraestructuras que limitan los desbordamientos y la infraestructura de transporte situada en las zonas más sensibles, así como las zonas costeras más vulnerables y las regiones de *permafrost*.

Las áreas más vulnerables son algunas zonas costeras y las poblaciones que habitan en ellas, ya que serán las que sufran los mayores impactos derivados del cambio climático y del aumento del nivel del mar, como inundaciones y pérdida de tierra, procesos erosivos, etc. El IPCC (1995b) estima que, cada año, alrededor de 46 millones de personas se encuentran en riesgo de sufrir inundaciones. En caso de no adoptarse medidas de adaptación, se calcula que un aumento del nivel del mar de unos 50 centímetros elevaría esa cifra a 92 millones. Si además tenemos en cuenta el crecimiento de la población, las estimaciones subirían sustancialmente. A esto se añade el hecho de que las zonas costeras suelen ser las que mayor densidad de población tienen, lo que las hace aún más vulnerables a los impactos. Algunos países insulares también sufrirán las consecuencias del cambio climático y el aumento del nivel del mar, sobre todo, aquellos que no tienen una infraestructura que modere estos impactos. En definitiva, los países que tengan mayor densidad de población serán los más vulnerables y los que se verán forzados a padecer migraciones tanto internas como externas.

La mayor parte de los estudios de impactos han evaluado la sensibilidad de distintas zonas considerando un aumento del nivel del mar de un metro. Esta proyección prevé que las zonas de mayor riesgo serán las islas pequeñas y los deltas. Por ejemplo, se espera que Uruguay pierda un 0,05% de tierra; Egipto, un 1%; Holanda, un 6%; Bangladesh, un 18%; y el atolón Majauro de las islas

Marshall, un 80%. Se calcula que unos 70 millones de personas se verán afectadas en China y Bangladesh.

Los asentamientos humanos más vulnerables están localizados en las zonas más sensibles de los países en desarrollo. Estos, además, tienen menos recursos para poder adoptar medidas que suavizen tales impactos.

Un sector especialmente vulnerable es el de los seguros. El cambio climático puede aumentar el riesgo de que ocurran acontecimientos extremos, lo que podría generar un aumento de las primas de las aseguradoras o simplemente una reducción de la cobertura de la propiedad en las zonas más vulnerables. Los cambios en la variabilidad del clima y los impactos extremos pueden ser difíciles de predecir o detectar, lo que dificulta el que las aseguradoras puedan ajustar las primas de forma apropiada. Si tal dificultad llevase a la insolvencia, las compañías no podrían garantizar los seguros contratados, lo que acabaría con el sector y dañaría a otros, como, por ejemplo, el bancario.

Otro aspecto importante que hay que tener en cuenta es el impacto sobre la salud. Hemos dicho ya que el cambio climático causará aumentos de las temperaturas y del nivel del mar, y que en algunas regiones se intensificarán las tormentas, inundaciones y sequías. Como estos impactos son muy generales, no siempre es posible relacionar directamente la pérdida específica de la salud con impactos climáticos concretos. No obstante, debido a que las altas temperaturas producen un estrés adicional en el aparato circulatorio de los seres humanos, las olas de calor tienden a incrementar la tasa de mortalidad. Cuando las temperaturas son más altas, suelen producirse más casos de enfermedades respiratorias y alérgicas, aunque estas últimas no parecen estar en correlación con el aumento de la mortalidad. Enfermedades como la malaria y otras transmitidas por insectos dependen mucho de las altas temperaturas. Estas enfermedades son más destructivas en los países tropicales, pero el calentamiento global podría hacerlas más dañinas en latitudes más altas (y también en mayores altitudes). De acuerdo con Haines (1990), cinco enfermedades mortales por picadura de mosquito muy comunes en los países tropicales podrían convertirse en un riesgo para algunos países del Norte, como EEUU, si el clima se vuelve más caliente.

Por último, algunos gases invernadero pueden constituir un riesgo por sí mismos, independientemente del cambio climático. Este es el caso de los CFCs que destruyen el ozono atmosférico. Ya hemos señalado que este hecho aumenta la cantidad de radiación ultravioleta que alcanza la superficie de la Tierra. Dicha

radiación puede producir cáncer, debilitar el sistema inmunológico de los seres humanos y hacernos más vulnerables a las enfermedades infecciosas y respiratorias. Las políticas de adaptación para reducir los impactos sobre la salud incluyen la tecnología protectora (aire acondicionado, purificación del agua, vacunación) y el correcto cuidado de la salud.

## 5. REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTOS MÁS IMPORTANTES

Las investigaciones existentes utilizan una amplia variedad de aproximaciones, tales como el análisis de series temporales, estudios de ingeniería y modelos de circulación general (GCMs). Es probable que el cambio climático cause diferentes efectos en sectores distintos y en países diversos. La Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA 1989 y 1995) y la Academia Nacional de Ciencias de ese mismo país (NAS 1982) han publicado estudios muy completos sobre los impactos más probables del cambio climático para el siglo XXI. En general, aquellos sectores de la economía que tienen una gran dependencia de fenómenos naturales como la lluvia o las temperaturas serán los más afectados por el cambio del clima. Agricultura, bosques, recreo al aire libre y actividades costeras quedan dentro de esta categoría. Países como Japón o EEUU, que tienen sus economías enfocadas hacia sectores de manufactura de alto contenido tecnológico y servicios, se encuentran en una posición ventajosa ante los efectos del calentamiento, mientras que países en desarrollo, con economías esencialmente agrarias, como India o China, son mucho más vulnerables.

Respecto a los países desarrollados, la mayor parte de los más importantes estudios recientes sobre los impactos del cambio climático en sectores económicos distintos han sido realizados para la economía norteamericana. No obstante, también existen algunas investigaciones sobre otros países de la OCDE, aunque estas son de menor alcance que las anteriores. Algunos estudios han estimado el impacto que tendría en los Estados Unidos una duplicación del CO<sub>2</sub> (con un calentamiento de entre 2,5 y 3 °C); los más importantes aparecen sintetizados en la tabla 3:

TABLA 3. COMPARACIÓN DE LAS ESTIMACIONES SOBRE EL IMPACTO DEL CALENTAMIENTO GLOBAL EN EEUU: IMPACTO DE UNA DUPLICACIÓN DEL CO<sub>2</sub> SOBRE LOS INGRESOS (en miles de millones de dólares de 1988 por año)

	Nordhaus	Cline	Fankhauser
Sectores muy afectados:			
Agricultura	1	15,2	7,4
Áreas costeras	10,7	2,5	2,3
Energía	0,5	9	0
Otros sectores:			
Pérdida de tierras húmedas y especies	*	7,1	14,8
Salud	*	8,4	30,3
Otros	11,2	12,1	
Total: miles de millones de dólares	50,3	53,4	66,9
% de la producción (pérdidas)	1,0	1,1	1,3

\* Incluido en el total para "Otros sectores".

FUENTE: Nordhaus (1990b), Cline (1992b) y Fankhauser (1993).

La primera columna muestra los resultados de Nordhaus (1990b) puestos al día a precios de 1988. Los otros dos estudios, Cline (1992b) y Fankhauser (1993) utilizan en gran parte la misma base de datos, pero extienden el análisis de Nordhaus a otros sectores. La convención que se emplea en la mayoría de los estudios de daños es calcular los impactos en términos del nivel y la composición de la producción actuales. Así, los 53 mil millones de dólares de daño resultante de la duplicación del CO<sub>2</sub> estimados por Cline muestran los impactos estimados que tendrían lugar más o menos dentro de un siglo sobre la economía actual.

Cline ha llevado a cabo el análisis económico más detallado acerca de los impactos potenciales del cambio climático sobre diversos sectores; sus resultados generales se resumen en la segunda columna de la anterior tabla. No obstante, muchas de las estimaciones de Cline son excesivamente sutiles, hasta el punto de que pueden conducir a cálculos exagerados de los impactos. Por ejemplo, sus estimaciones sobre las pérdidas causadas por tormentas asumen que estas se vuelven más severas, mientras que el IPCC y los estudios de la Academia Nacional de Ciencias de EEUU concluyen que el efecto del calentamiento sobre la intensidad de las tormentas es ambiguo. Otro caso de este tipo se encuentra en las actividades de ocio al aire libre, donde Cline sólo incluye pérdidas procedentes de la menor práctica del esquí, pero excluye las ganancias que

pueden derivarse de un clima templado más prolongado, por ejemplo, en industrias de ocio al aire libre, como cámpings, piscinas, alquiler y venta de embarcaciones, etc. En agricultura, Cline confía en estimaciones que implican poca o ninguna forma de adaptación. En la misma línea, se basa en un estudio que prácticamente ignora la adaptación para lo referente a la salud. A pesar de esta tendencia a ver el lado pesimista del calentamiento global, las estimaciones de los impactos de Cline están solo marginalmente por encima de las de Nordhaus: el 1,1% del PNB para un calentamiento de 2,5 °C, en comparación con el 1% del PNB para un calentamiento de 3 °C en Nordhaus.

Una tercera aproximación la constituye la compilación de Fankhauser (última columna de la tabla). Este estudio emplea la misma metodología que Nordhaus y Cline, pero utiliza estudios adicionales y amplía el análisis a los países de la OCDE y al mundo, en general. Sus resultados se parecen a los de estudios previos y registran un impacto o pérdida del 1,3% del PNB de los Estados Unidos, ocasionado por un calentamiento de 3 °C.

Como ya anticipábamos, los estudios sobre otros países desarrollados son, actualmente, fragmentarios, por lo que no es posible de momento sacar conclusiones particulares. No obstante, una primera lectura de estas investigaciones realizadas para otros países industrializados revela que los impactos serían similares a los de EEUU, e incluso algunos podrían obtener beneficios netos. Por ejemplo, el citado estudio de Fankhauser (1993) estima que, cuando se duplica el CO<sub>2</sub>, las pérdidas que se originan son equivalentes al 1,4% del PNB para la OCDE y al 1,5% para el mundo en su totalidad. Otra investigación llevada a cabo por un grupo de expertos de la Universidad de Yale muestra que, para un calentamiento de 3 °C en el año 2030, la respuesta media sería una pérdida económica del 1,8% de la producción mundial. No obstante, la incertidumbre de esta investigación es, reconocidamente, alta.

Otra aproximación para medir los impactos es el análisis ricardiano, que calcula el impacto económico del clima y otras variables (precipitaciones) sobre el valor de la tierra y las rentas de los agricultores. La aproximación ricardiana es útil porque permite cualquier clase de adaptación, mientras que las que utilizan la función de producción —sistema muy empleado en el análisis de los impactos— omiten casi todos los tipos de adaptaciones al cambio climático. Un estudio de Mendelsohn, Nordhaus y Shaw (1993) desarrolla el método ricardiano para examinar el impacto del clima en la agricultura de EEUU, utilizando datos de sección cruzada en el clima, precios de la tierra y otras variables económicas y geofísicas para casi 3.000 condados de esa nación. Los autores demuestran que

las mayores temperaturas (en todas las estaciones excepto, en otoño) reducen las rentas medias agrícolas, mientras que las mayores precipitaciones fuera del otoño aumentan estos valores. En esta aproximación, el modelo ricardiano arroja, en general, pérdidas anuales de entre 6 y 8 mil millones de dólares, esto es, una pérdida de 175 mil millones de dólares del ingreso bruto agrario.

La información es algo más escasa en los países en desarrollo, ya que los estudios de impactos han estado principalmente centrados en los países industrializados. No obstante, en la actualidad se están elaborando nuevos estudios, realizados conjuntamente por científicos norteamericanos, europeos y de los países en desarrollo. En el informe publicado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA 1995) han colaborado decenas de investigadores de todo el mundo y constituye la culminación del trabajo iniciado en 1989 (EPA 1989).

Los estudios presentados en dicho informe utilizan una metodología similar a la del IPCC. Teniendo en cuenta que el cambio climático a escala regional es incierto, los estudios emplearon de tres a cuatro escenarios comunes obtenidos de modelos de circulación general (GCMs) y suponiendo aumentos en la temperatura, precipitaciones y nivel del mar. También se toman en consideración algunas mejoras tecnológicas y medidas de adaptación.

Los GCMs utilizados y las estimaciones de aumento en la temperatura global media y precipitaciones se resumen en la tabla siguiente:

TABLA 4. ESTIMACIONES DE LOS GCMs SOBRE LOS INCREMENTOS DE TEMPERATURA GLOBAL MEDIA Y PRECIPITACIONES (DADA UNA DUPLICACIÓN DEL CO<sub>2</sub>)

GCM	Δ Temperatura (°C)	Δ Precipitaciones (%)
GISS	4,2	11,0
GFDL	4,0	8,7
UKMO	5,2	15,0
OSU	2,8	7,8
LOWEND	2,4	5,0

CLAVE: GISS, Instituto Goddard de Estudios Espaciales, de Nueva York; GFDL, Laboratorio de Dinámica de Fluidos Geofísicos, de Princeton (New Jersey); UKMO, Oficina Meteorológica del Reino Unido; OSU, Universidad del Estado de Oregón; LOWEND, Ejecución Transitoria del GISS para la década del 2030.

NOTA: El UKMO contempla un calentamiento mayor que el rango de calentamiento del IPCC (1,5°-4,5°) para una duplicación del CO<sub>2</sub>.

FUENTE: EPA (1995).

En general, los estudios mostraron —basándose en los escenarios<sup>6</sup> anteriores— que los países en desarrollo son los más vulnerables al cambio climático. Tanto es así, que la producción agraria podría disminuir en muchos países, dando lugar a aumentos en los precios agrarios y a problemas de desnutrición<sup>7</sup>; las tierras bajas, en particular los deltas, podrían quedar inundados por el aumento del nivel del mar<sup>8</sup>; las cuencas de algunos ríos podrían tener escasez de agua y el estrés provocado por el mayor calor podría aumentar en algunas ciudades. Gran parte de esta vulnerabilidad se deriva de que estos países no tengan recursos disponibles suficientes para poder adaptarse a tales impactos. Además, el cambio climático podría también aumentar el desfase económico con los países desarrollados. Por ejemplo, se prevé que la producción agrícola caiga en muchos países en desarrollo, mientras que en muchos de los desarrollados el cambio climático incentivará su producción. Los cambios en la producción agrícola global dependerán de la magnitud del cambio climático, del efecto de fertilización del CO<sub>2</sub> y de la disponibilidad de medidas de adaptación.

La sensibilidad de los ecosistemas al cambio climático no depende de si estos se encuentran en los países desarrollados o en desarrollo. Los daños ecológicos podrían extenderse por todo el planeta si el ritmo de avance del cambio climático supera la capacidad de adaptación de las especies, algunas de las cuales podrían extinguirse. Los ecosistemas boreales pueden tener un mayor riesgo de ser dañados que los bosques de latitudes más bajas. Los escenarios anteriores muestran que la extensión de bosques boreales podría reducirse entre

---

<sup>6</sup> Un escenario de cambio climático se define como los cambios en la temperatura global media (por ejemplo, un cambio de entre 1,5° y 4,5°) que pueden producirse debido a una duplicación del dióxido de carbono. Los escenarios no son predicciones y no suelen recoger todos los cambios potenciales de clima a escala regional.

<sup>7</sup> En tres de los escenarios de cambio climático (GISS, GFDL y UKMO) se calcula que entre 63 y 369 millones de personas correrían el riesgo de padecer hambre en los países en desarrollo. No obstante, cuando se incluyen las medidas de adaptación en los modelos (cambios en la fecha de siembra y en el tipo de cultivo, introducción de nuevos sistemas de irrigación), estas cifras se reducen considerablemente, ya que la caída de la producción es menor y también el incremento de los precios.

<sup>8</sup> Las regiones más afectadas ante una supuesta elevación de un metro en el nivel del mar (según los modelos) serían Bangladesh (podría inundarse el 16% de la tierra utilizada para el cultivo del arroz y 13 millones de personas tendrían que desplazarse), China (más de 72 millones de habitantes y miles de kilómetros cuadrados de tierra agrícola están en riesgo de sufrir inundaciones completas, sobre todo en las principales llanuras costeras) y Egipto (el aumento del nivel del mar podría inundar entre el 12 y el 15% de la tierra agrícola para el año 2000 y desplazar a 6 millones de personas). Además, estas son, entre otras, las zonas con riesgo de padecer hambre, enfermedades y alta mortalidad.

un 15 y un 45%. Algunos bosques, como los tropicales o las selvas húmedas, podrían expandirse si hubiera tierra disponible (lo cual es improbable, dada la forma actual de los asentamientos humanos y la escasa posibilidad de migración y trasplante de los bosques). Lo más posible, según indican los modelos, es que aquellos se volvieran más secos y su extensión disminuyera entre un 5 y un 26%.

No obstante, no todos los impactos serían negativos. Algunas zonas saldrían beneficiadas, ya que tendrían mayor disponibilidad de agua o mayor productividad agrícola. Además, las medidas de anticipación y adaptación podrían aminorar algunos de estos impactos.

TABLA 5. CAMBIOS EN MILLONES DE PERSONAS EN RIESGO DE SUFRIR HAMBRE EN 2060

Escenario GCM	GCM sin adaptación	GCM con adaptación
GISS	+10	-12
GFDL	+108	+18
UKMO	+369	+119

FUENTE: EPA (1995).

## 6. CONCLUSIONES

— *El cambio climático de origen antropogénico añade un nuevo e importante estrés.* El factor antropogénico representa un estrés adicional importante, en particular para muchos sistemas socioeconómicos y ecológicos que ya padecen las secuelas de la contaminación, del aumento de la demanda de recursos y de la gestión no sostenible. Los sistemas más vulnerables son aquellos que tienen una mayor sensibilidad a los cambios del clima y una menor adaptabilidad.

— *La mayor parte de los sistemas son sensibles al cambio climático.* Los sistemas ecológicos naturales, socioeconómicos y de salud humana son todos ellos sensibles tanto a la magnitud como al ritmo del cambio climático.

— *Es difícil cuantificar los impactos, y los estudios existentes tienen un alcance limitado.* Aunque nuestro conocimiento ha mejorado enormemente durante la

última década y las estimaciones cualitativas se desarrollan con relativa facilidad, las proyecciones cuantitativas de los impactos del cambio climático sobre un sistema particular o en una localidad determinada son problemáticas. Ello se debe a que las predicciones de cambio climático a escala regional poseen una alta incertidumbre, a que nuestro conocimiento actual sobre muchos procesos esenciales es limitado y a que los sistemas están sujetos a múltiples condicionantes y estreses climáticos y no climáticos. La mayoría de los estudios de impactos han evaluado la respuesta de los distintos sistemas al cambio climático como resultado de una duplicación de las concentraciones de dióxido de carbono. Pocos análisis han considerado respuestas dinámicas al aumento continuado de las concentraciones de gases invernadero; pocos también han examinado las consecuencias que tendría un incremento de más del doble en las concentraciones de gases invernadero.

— *La consecución de una adaptación exitosa depende del avance de la tecnología, de la organización institucional, de la disponibilidad de financiación y del intercambio de información.* Los avances tecnológicos han favorecido la utilización de técnicas de adaptación para algunos sistemas, como la agricultura o la oferta de agua. No obstante, muchas regiones del mundo suelen tener limitado el acceso a estas tecnologías y a una información apropiada. La eficacia y la utilización coste-efectiva de las estrategias de adaptación dependerá de la disponibilidad de recursos financieros, de la transferencia de tecnología y de las prácticas culturales, institucionales, organizativas y legales.

— *La vulnerabilidad aumenta y la capacidad de adaptación disminuye.* La vulnerabilidad de la salud humana y de los sistemas socioeconómicos depende de las circunstancias económicas y de la infraestructura institucional. Esto implica que los sistemas suelen ser más vulnerables en los países en desarrollo, donde ambos factores son menos favorables. Las poblaciones que habitan en las zonas áridas y semiáridas, en las zonas costeras bajas, en áreas con escasez de agua o con riesgo de desbordamiento o en pequeñas islas están particularmente expuestas al cambio climático. Algunas regiones se han vuelto más vulnerables ante fenómenos como las tormentas, inundaciones y sequías, debido al aumento de la densidad de población en zonas especialmente sensibles, como las cuencas de los ríos o las llanuras costeras. Las actividades humanas han fragmentado e incrementado la vulnerabilidad de los ecosistemas, lo que limita la adaptación natural y la efectividad de las medidas que ayudan a que los ecosistemas se adapten. Los impactos del cambio climático sobre los sistemas ecológicos y socioeconómicos en el corto plazo serán el resultado de los cambios en la inten-

sidad y en la distribución geográfica de variables climáticas comunes, como las anteriormente mencionadas (tormentas, etc.). En la mayor parte de los casos, las medidas de adaptación pueden reducir la vulnerabilidad.

— *Será difícil detectar los cambios del clima y controlar las variaciones inesperadas.* En las próximas décadas no será fácil detectar con exactitud los cambios climáticos que tengan lugar en la mayor parte de los sistemas ecológicos y sociales. Esto se debe a que estos sistemas son muy complejos, tienen realimentaciones no lineales y una gran sensibilidad a la mayor parte de los factores climáticos y no climáticos. El desarrollo de una base de referencia a partir de la cual proyectar las condiciones futuras con o sin cambio climático es crucial, porque constituye la clave para poder medir todos los posibles impactos.

— *Es necesario seguir investigando.* Hace falta un mayor apoyo a la investigación y al control del cambio climático, lo cual incluye un mayor esfuerzo de cooperación entre instituciones nacionales e internacionales para poder mejorar las proyecciones climáticas a escala regional, comprender las respuestas que los distintos sistemas (ecológicos, socioeconómicos, etc.) tienen ante el cambio climático y aumentar nuestro conocimiento sobre este gran universo del clima y sus impactos.

**BIBLIOGRAFÍA**

- CESS, R. D. y POTTER, G. L. (1988), "A Methodology for Understanding and Inter-comparing Atmospheric Climate Feedback Processes in General Circulation Models", *Journal of Geophysical Research*.
- CLINE, W. R. (1992a), *The Greenhouse Effect: Global Economic Consequences*, Washington DC, Institute for International Economics.
- (1992b), *The Economics of Global Warming*, Washington DC, Institute for International Economics.
- (1992c), *The Greenhouse Effect: Global Warming Consequences*, Washington DC, Institute for International Economics.
- EMF (ENERGY MODELLING FORUM) (1992), *Global Climate Change: Energy Sector Impacts of Greenhouse Gas Emission Control Strategies*, Energy Modeling Forum Report n.º 12, Stanford University.
- EPA (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY) (1989), *The Potential Effects of Global Climate Change on the United States: Report to Congress*, EPA-230-05-89-050, diciembre.
- (1992), *Optimizing Tax Strategies to Reduce Greenhouse Gases without Curtailing Growth*.
- (1995), *As Climate Changes: International Impacts and Implications*, Cambridge University Press.
- ERICKSON, J. (1992), *Greenhouse Earth. Tomorrow's Disaster Today*, McGraw Hill.
- FANKHAUSER, S. (1993), "The Economic Costs of Global Warming: Some Monetary Estimates", en KAYA, Y.; NAKICENOVIC, N. y NORDHAUS, W. (eds.), *Costs, Impacts and Benefits of CO<sub>2</sub> Mitigation*, Laxenburg (Austria), Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados, CP-93-2, 85-105.
- FORUM ON GLOBAL CHANGE MODELING (1995), *Informe 95-02 de USGCRP*, Washington DC (disponible en los User Services de GCRIO, 2250 Pierce Rd., University Center MI 48710).
- GARCÍA FERNÁNDEZ, C. (1998), *El cambio climático: un estudio económico* (tesis doctoral), Madrid, Universidad Complutense de Madrid.
- GLOMSROD, S. *et al.* (1990), "Stabilization of Emissions of CO<sub>2</sub>: A Computable General Equilibrium Assesment", Central Bureau of Statistics, Oslo (abril).
- HAINES, A. (1990), "The Implications for Health", en *Global Warming: The Greenpeace Report*, Oxford University Press.
- HANSEN, J. *et al.* (1990), "The Missing Data on Global Climate Change", *Issues in Science and Technology*, 7, pp. 62-69; citado en CLINE, W. R. (1992).

- HANSEN, J. y LEBEDEFF, S. (1987), "Global Trends of Measured Surface Air Temperatures", *Journal of Geophysical Research*, 92, vol. 13, pp. 345-72.
- HOUGHTON, R. y WOODWELL, G. M. (1989), "Global Climatic Change", *Scientific American*, 260, n.º 4 (abril).
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE) (1990a), *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press.
- (1990b), *Scientific Assessment of Climate Change. Report Prepared for IPCC by Working Group I*, Nueva York, World Meteorological Organization and United Nations Environmental Program.
- (1992a), *Organización Mundial de Meteorología-Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press.
- (1992b), *Global Climate Change and the Rising Challenge of the Sea: Supporting Document for the IPCC Update Report 1992*, Washington DC, Subgrupo de Administración de Zonas Costeras del Grupo de Trabajo de Estrategias de Respuesta, National Oceanographic and Atmospheric Administration.
- (1994), *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*, Cambridge University Press.
- (1995a), *Climate Change 1995: The IPCC Second Assessment Report*, Cambridge University Press.
- (1995b), *Summary for Policymakers: Scientific-Technical Analyses of Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change (IPCC Working Group II)*, UNEP (United Nations Environmental Program).
- (1996), *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change*, Cambridge University Press.
- IPCC-US/JAPAN WORKING GROUP ON METHANE (1992), *Technological Options for Reducing Methane Emissions*, Washington DC, USEPA.
- INGRAM, W. J.; WILSON, C. A. y MITCHELL, J. F. B. (1989), "Modeling Climate Change: An Assessment of Sea-Ice and Surface Albedo Feedbacks", *Journal of Geophysical Research*, 94, pp. 8609-8622.
- LORIUS, C. *et al.* (1990), "The Ice-Core Record: Climate Sensitivity and Future Greenhouse Warming", *Nature*, vol. 347, pp. 139-45.
- MANABE, S. y WETHERALD, R. T. (1967), "Thermal Equilibrium of the Atmosphere with a Given Distribution of Relative Humidity", *J. Atmos*, vol. 24, pp. 241-259.
- MENDELSON, R.; NORDHAUS, W. y SHAW, D. G. (1993), "The Impact of Climate in Agriculture: A Ricardian Approach", en KAYA, Y.; NAKICENOVIC, N. y NORDHAUS, W. (eds.), *Costs, Impacts and Benefits of CO<sub>2</sub> Mitigation*, Laxenburg (Aus-

- tria), Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados, CP-93-2, 173-207.
- NAS (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES) (1982), *Carbon Dioxide and Climate: A Second Assessment*, Washington DC, NAS.
- NORDHAUS, W. (1990a), *Contribution of Different Greenhouse Gases to Global Warming: A New Technique for Measuring Impacts*.
- (1990b), *To Slow or not to Slow: The Economics of the Greenhouse Effect* (mimeo), Department of Economics, Yale University.
- (1991), "Economic Approaches to Global Warming", en DORNBUSH, R. D. y POTERBA, J. M. (eds.), *Global Warming: Economic Policy Approaches*, Cambridge (MA), MIT Press, pp. 33-68.
- PARRY, M. (1990), *Climate Change and World Agriculture*, Londres, Earthscan Publications.
- PNUMA (PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO; UNEP, UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME) (1991), "Cambio climático: una visión general", en *Nuestro planeta*, t. 3, n.º 4.
- PNUMA (1997), *Unidad de Información para los Convenios. Set informativo sobre el cambio climático*, PNUMA.
- SOLOW, R. (1991), "Global Warming Economic Policy Responses", en DORNBUSH, R. D. y POTERBA, J. M. (eds.), *Global Warming: Economic Policy Approaches*, Cambridge, MIT Press.
- TANGLEY, L. (1988), "Preparing for Climate Change", *BioScience*, 38, pp. 14-18.
- WIGLEY, T. (1987), "Relative Contributions of Different Trace Gases to the Greenhouse Effect", *Climate Monitor*, 16, pp. 14-29.
- WIRTH, D. y LASHOF, D. (1990), "Beyond Vienna and Montreal. Multilateral Agreements on Greenhouse Gases", *Ambio*, XIX, 6-7 (octubre).

## NOTAS DEL LECTOR

<b>Pág.</b>	<b>Notas</b>