

**NACIONES UNIDAS**

**COMISION ECONOMICA  
PARA AMERICA LATINA  
Y EL CARIBE - CEPAL**



**GENERAL**

**LC/G.1765**

**5 de agosto de 1993**

**ESPAÑOL**

**ORIGINAL: INGLES**

---

**CAMBIO CLIMATICO Y GESTION DEL AGUA  
EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE\***

\* Este trabajo, preparado por la División de Recursos Naturales y Energía de la CEPAL, fue distribuido anteriormente en su versión original en inglés con la signatura LC/R.1274.

## INDICE

|                                                                                                 | <u>Página</u> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| INTRODUCCION .....                                                                              | 1             |
| I. CAMBIO CLIMATICO MUNDIAL .....                                                               | 3             |
| A. CALENTAMIENTO DEBIDO AL EFECTO INVERNADERO .....                                             | 3             |
| 1. ¿Por qué se produce el calentamiento de la atmósfera? .....                                  | 5             |
| 2. ¿Qué tan rápido será el cambio climático mundial? .....                                      | 6             |
| 3. ¿Cómo se prevé el cambio del clima? .....                                                    | 8             |
| 4. Pronóstico empírico del clima .....                                                          | 26            |
| 5. Los cambios en la utilización de la tierra y sus efectos sobre el clima ...                  | 27            |
| 6. El fenómeno de El Niño Oscilación Meridional:<br>¿prefiguración de lo que ha de venir? ..... | 30            |
| B. AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR .....                                                              | 33            |
| C. AGOTAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO ESTRATOSFERICO .....                                         | 35            |
| II. CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMATICO MUNDIAL PARA LA<br>GESTION DEL AGUA .....                | 39            |
| A. CALENTAMIENTO DE LA ATMOSFERA POR EL<br>EFECTO INVERNADERO .....                             | 39            |
| 1. Sensibilidad de los sistemas hídricos a las variaciones del clima .....                      | 39            |
| 2. Consecuencias del cambio climático mundial para el diseño de proyectos .                     | 52            |
| 3. Respuestas posibles .....                                                                    | 54            |
| B. ELEVACION DEL NIVEL DEL MAR .....                                                            | 56            |
| 1. Inundaciones costeras, erosión de las playas y recesión del litoral .....                    | 56            |
| 2. Salinización de aguas subterráneas, ríos, bahías y suelos .....                              | 58            |
| 3. Alteraciones en la estructura de la deposición de sedimentos .....                           | 62            |
| 4. Sistemas hidrológicos costeros e interiores .....                                            | 62            |
| C. AGOTAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO ESTRATOSFERICO .....                                         | 63            |

|                                                                                                    | <u>Página</u> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| III. USO CONSUNTIVO DEL AGUA Y CAMBIO CLIMATICO .....                                              | 65            |
| A. AGRICULTURA .....                                                                               | 65            |
| 1. Calentamiento debido al efecto invernadero .....                                                | 65            |
| 2. Elevación del nivel del mar y utilización de agua para la agricultura .....                     | 74            |
| 3. Utilización del agua para la agricultura y agotamiento de la capa de ozono estratosférico ..... | 74            |
| B. OTROS USOS CONSUNTIVOS DEL AGUA .....                                                           | 75            |
| C. POSIBLES EFECTOS DE LAS POLITICAS DE CONTROL .....                                              | 76            |
| IV. USO NO CONSUNTIVO DEL AGUA Y CAMBIO CLIMATICO .....                                            | 77            |
| A. CONTAMINACION Y CALIDAD DEL AGUA .....                                                          | 77            |
| B. ENFERMEDADES VINCULADAS CON EL AGUA .....                                                       | 79            |
| C. GENERACION DE ENERGIA HIDROELECTRICA .....                                                      | 80            |
| D. TRANSPORTE POR AGUAS INTERIORES .....                                                           | 80            |
| E. PESQUERIA .....                                                                                 | 82            |
| 1. Pesca .....                                                                                     | 82            |
| 2. Ecosistemas costeros .....                                                                      | 84            |
| F. RECREACION ACUATICA .....                                                                       | 85            |
| CONCLUSIONES .....                                                                                 | 87            |
| Notas .....                                                                                        | 92            |
| BIBLIOGRAFIA .....                                                                                 | 93            |

## INTRODUCCION

Se afirma que la posibilidad de un calentamiento de la Tierra es uno de los problemas más difíciles que enfrentan los usuarios de los recursos hídricos en América Latina y el Caribe. El tema afecta potencialmente todos los aspectos de la utilización del agua en la región. Muchos países podrían experimentar graves cambios en la disponibilidad y calidad del agua. Incluso en las áreas donde las precipitaciones pudieran aumentar, sus efectos positivos pueden verse contrarrestados con creces por las variaciones estacionales del escurrimiento y aun más por la mayor demanda y evaporación provocadas por la elevación de la temperatura. Podrían variar la frecuencia, intensidad y distribución espacial de las inundaciones, sequías, ciclones tropicales y otras condiciones meteorológicas extremas. El impacto de la variación climática sería mayor en las zonas donde hay escasez de agua, gran contaminación o condiciones meteorológicas extremas peligrosas.

Muchas de las decisiones importantes relacionadas con proyectos de recursos hídricos se basan en el supuesto de que la información climática anterior sirve de orientación confiable para el futuro. Si existen razones de peso para estimar que el clima variará durante la vida útil de la mayor parte de las estructuras hidráulicas, los procedimientos de diseño técnico en el futuro tendrán que adaptarse al cambio previsto en las condiciones climáticas e hidrometeorológicas en relación con la vida del proyecto (Linz, 1990).

Todavía existen grandes lagunas en la información disponible y en el análisis de la estrecha relación que existe entre las modalidades de utilización del agua y las variaciones climáticas en los países en desarrollo, incluidos los de América Latina y el Caribe. El presente informe tiene por objeto analizar las repercusiones posibles más importantes de las variaciones climáticas a nivel mundial en relación sobre la utilización del agua en América Latina y el Caribe. Aunque todavía subsiste un grado considerable de incertidumbre acerca de los cambios meteorológicos en perspectiva, una línea de conducta responsable en la actualidad consiste en examinar la manera en que los cambios climáticos pueden afectar los patrones de utilización del agua en la región. Es preciso que los países de América Latina y el Caribe conozcan las consecuencias posibles de los cambios climáticos a fin de que puedan responder con la adopción de medidas apropiadas. Las economías regionales pueden ser relativamente más vulnerables a las variaciones globales del clima, debido a que un porcentaje mayor de su producto interno bruto depende de ramos de la economía que son sensibles al clima y se relacionan con los recursos hídricos.

Desde que el problema de la variación climática a escala mundial fue inscrito en la agenda de los problemas globales del medio ambiente, ha habido numerosos intentos por evaluar de manera crítica los pronósticos de los cambios climáticos y sus posibles consecuencias. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (IPCC), creado en 1988 con los auspicios de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), realizó una de las últimas y más completas evaluaciones. En el informe del IPCC se calcularon la probabilidad, magnitud y proporción del cambio climático mundial; los efectos consiguientes

y las posibles respuestas normativas y sus consecuencias. El presente estudio se basa en gran medida en el trabajo del IPCC.

En las investigaciones del IPCC se señala que la tendencia actual puede aumentar la temperatura media del mundo presente en cerca de 1°C en el año 2025 y 3°C antes de que finalice el próximo siglo. Hay aproximadamente 4.5°C de diferencia entre la temperatura media del mundo presente y la que existió durante el último período glaciario hace unos 20 000 años. Una elevación mundial (eustática) del nivel medio del mar de aproximadamente 6 cm por decenio durante el próximo siglo puede acompañar el incremento de la temperatura. Subsisten, sin embargo, muchas incertidumbres respecto de la secuencia cronológica, la magnitud y los patrones regionales de los cambios climáticos y su significado (Dadzie, 1992).

Hay dos factores que sitúan las preocupaciones actuales acerca de la posibilidad de un calentamiento debido al efecto invernadero en una categoría totalmente diferente respecto de la última variación climática. En primer lugar, podría provocar un calentamiento que superara al que se produjo en los últimos 100 mil años. En segundo lugar, el efecto invernadero podría elevar la temperatura en varios grados centígrados en menos de un siglo, mientras que los cambios climáticos anteriores de una magnitud comparable ocurrieron a lo largo de decenas de miles de años (EPA, 1988a). Una diferencia importante entre el cambio climático actual pronosticado y los cambios del pasado se refiere al ritmo de variación, que se predice será de 15 a 40 veces más rápido que los períodos de calentamiento en el pasado (Peters y Myers, 1991-1992).

Una variación climática mundial de la magnitud pronosticada tendría indudablemente efectos importantes en el ciclo hidrológico. La Segunda Conferencia Mundial sobre el Clima observó que entre las repercusiones más importantes del cambio climático figuran sus efectos sobre el ciclo hidrológico y los sistemas de ordenación del agua, y a través de ellos, en los sistemas socioeconómicos (Somlyódy, 1991). Los cambios climáticos provocarían perturbaciones en la temperatura mundial y los regímenes de precipitaciones, la secuencia cronológica y la magnitud de los escurrimientos, las tasas de evapotranspiración, el carácter estacional de la mayoría de los procesos hidrológicos y la frecuencia e intensidad de las condiciones meteorológicas extremas, como los ciclones tropicales, las inundaciones y las sequías. Todos estos factores afectarían de manera importante la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos.

Debido a la insuficiencia de las informaciones y la incertidumbre relacionada con el calentamiento de la Tierra, la elevación del nivel del mar, el agotamiento de la capa de ozono estratosférico, las tendencias futuras en la utilización de los recursos hídricos y el desarrollo económico y social, el análisis del presente informe se centra en las posibilidades y no en las predicciones.

En este informe se resumen las conclusiones más aceptadas corrientemente y en general por la comunidad científica. Sin embargo, es importante observar que hay científicos que sostienen que los efectos de los cambios climáticos pueden ser mucho mayores, más rápidos y por consiguiente más catastróficos, en especial si no se adoptan medidas urgentes para reducir en forma drástica o al menos estabilizar los actuales niveles de las emisiones de gases termoactivos. Por otra parte, otros científicos opinan que la variación del clima será escasa y posiblemente se diluirá ante la magnitud de otros cambios sociales y sus efectos benéficos potenciales.

## Capítulo I

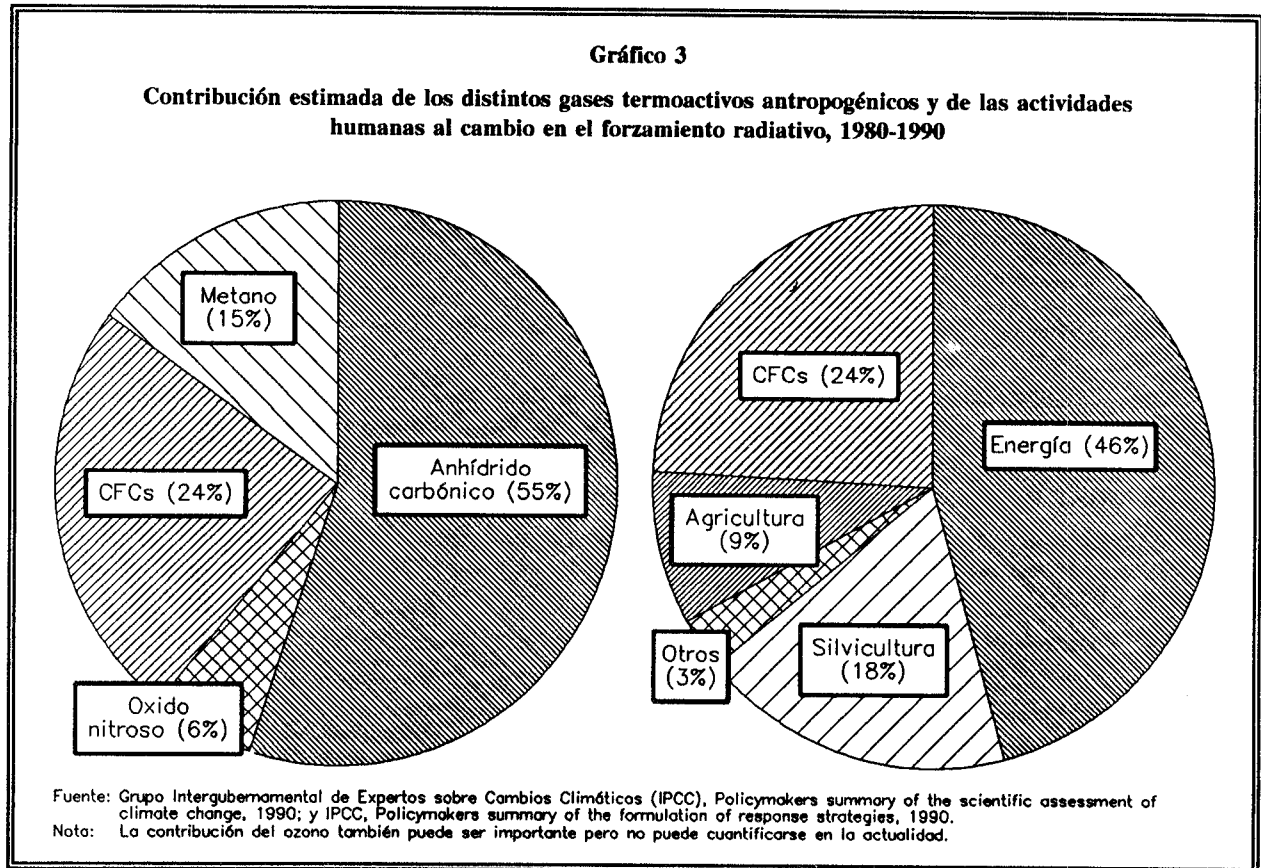
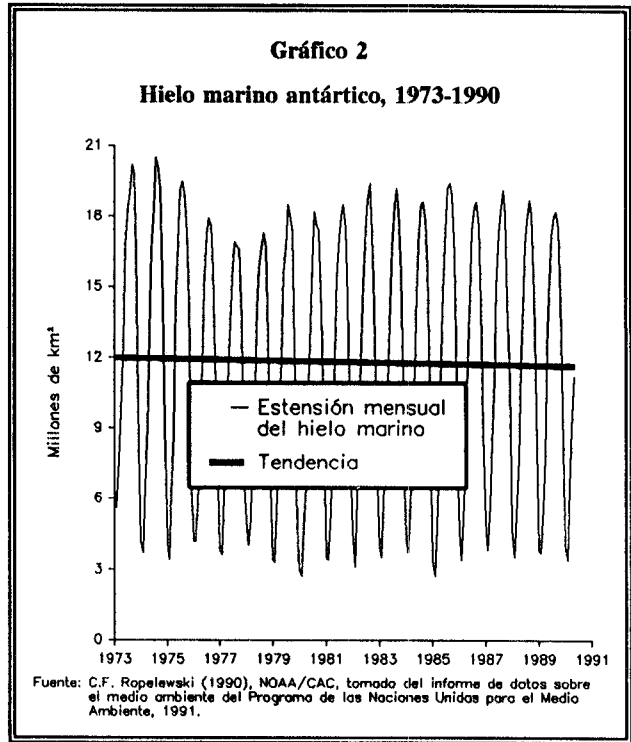
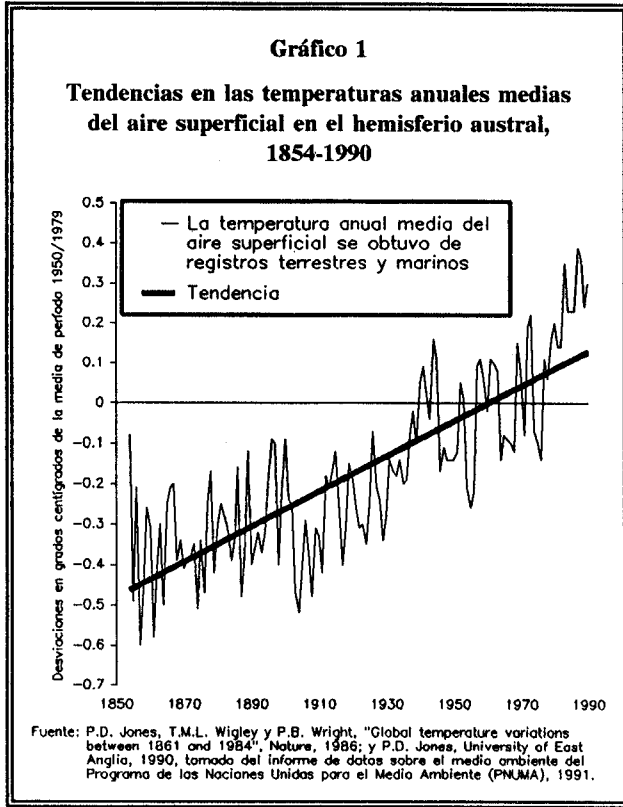
### CAMBIO CLIMATICO MUNDIAL

#### A. CALENTAMIENTO DEBIDO AL EFECTO INVERNADERO

Se estima que la temperatura superficial media de la Tierra se ha incrementado entre  $0.3^{\circ}\text{C}$  y  $0.6^{\circ}\text{C}$  en los 100 últimos años (véase el gráfico 1) y que 1990 y 1991 fueron los años más cálidos de que se tenga registro, después de las marcas anteriores en 1988, 1987, 1983, 1989 y 1981 (World Climate News, 1993). Entre otras pruebas que se aducen para respaldar este aumento de la temperatura mundial se incluye la recesión sustancial, aunque no continua, de los glaciares de montaña, que se ha producido casi en todas partes desde finales del siglo pasado, la reducción de la extensión del hielo marino antártico (véase el gráfico 2) y una mayor temperatura de la superficie del mar en muchas regiones tropicales en el último decenio (Folland, Karl y Vinnikov, 1990 y OMM/PNUMA/IPCC, 1992). Sin embargo, muchos científicos piensan que no hay pruebas importantes de la elevación de la temperatura en los 100 últimos años.

No hay pruebas fehacientes de que el clima se haya vuelto más variable en los últimos decenios y tampoco existe consenso respecto de si la temperatura superficial media se ha incrementado globalmente o no. Algunos científicos consideran que el aumento observado de la temperatura de la Tierra es congruente con el calentamiento debido al efecto invernadero y representa este efecto, mientras que otros disienten y señalan que la variabilidad natural del clima puede explicar el incremento observado de la temperatura (IMI, 1986). En un análisis reciente de los diez primeros años (1979-1988) de mediciones por satélite de los cambios de temperatura en la atmósfera inferior se reveló una amplia variabilidad de la temperatura a lo largo de escalas temporales de semanas a varios años, pero ninguna tendencia evidente para el período decenal (Spencer y Christy, 1990).

Algunos científicos sostienen que la actividad de las manchas solares puede explicar las variaciones de la temperatura global, pero no las concentraciones de gases (Seitz, Jastrow y Niesenberg, 1989). Otros han señalado recientemente que las emisiones de anhídrido carbónico quizá no se traduzcan en un calentamiento de la Tierra sino en un enfriamiento a escala mundial, e incluso potencialmente en otro período glacial (McKlintic, 1992). Por ejemplo, algunos físicos han llegado a la conclusión de que estamos ante un enfriamiento global y aseveran que el efecto albedo (reflectividad de la radiación solar) causado por las variaciones en las propiedades ópticas de las nubes sobrepasa el efecto invernadero (Rockner y otros, 1987).



### 1. ¿Por qué se produce el calentamiento de la atmósfera?

El efecto invernadero de la atmósfera juega un papel decisivo en el equilibrio energético de la Tierra y es indispensable para la preservación de la vida. Sin él la temperatura de la Tierra sería inferior en unos 33°C, con una temperatura global media estimada de -18°C en vez de la media actual de +15°C y la vida, tal como se conoce, no existiría (Mitchell, 1989). El efecto invernadero consiste básicamente en que cerca de 30% del promedio de 342 vatios por m<sup>2</sup> de radiación solar que llega a las capas exteriores de la atmósfera terrestre se refleja de nuevo al espacio, mientras que el resto es absorbido por la atmósfera y la superficie (Royer y Mahfouf, 1992). Una vez calentado, el sistema tierra-atmósfera comienza a emitir radiaciones térmicas hacia el espacio, la mayoría infrarroja. La nubosidad y ciertos gases pueden absorber la radiación en la banda infrarroja. Estos gases (vapor de agua, anhídrido carbónico, óxido nitroso, metano, ozono de la atmósfera inferior y clorofluorocarbonos, entre otros) se les conoce en forma colectiva como gases termoactivos, pero también se conocen como gases radioactivamente importantes o radiativamente activos. El monóxido de carbono y el óxido de nitrógeno se incluyen a veces en la lista de gases termoactivos porque influyen directamente en las concentraciones de otros gases termoactivos en la atmósfera (OCDE/IEA, 1991).

Todos los gases termoactivos comparten una propiedad común: dejan pasar la radiación solar de onda corta, pero absorben ávidamente e irradian la radiación infrarroja de onda larga emitida por la Tierra. Por consiguiente, su presencia en la atmósfera cambia el equilibrio radiativo de nuestro planeta y ejerce un efecto de calentamiento o de invernadero. El efecto de calentamiento del vapor de agua atmosférico equivale a 100 vatios suplementarios por m<sup>2</sup> de radiación superficial, el del anhídrido carbónico a 50 vatios y el de la nubosidad a 30 vatios (Royer y Mahfouf, 1992).

El efecto invernadero es a la vez natural y provocado. El efecto invernadero natural es consecuencia de las concentraciones atmosféricas naturales de gases termoactivos, que generalmente se suponen equivalentes a las concentraciones observadas durante el período preindustrial. El efecto invernadero provocado, conocido asimismo como forzamiento climático o radiativo, resulta de la presencia de gases termoactivos adicionales en la atmósfera por obra de la actividad humana, incluida la producción y utilización de energía, las actividades industriales, incluida la producción y utilización de clorofluorocarbonos (CFC), las actividades agrícolas y las modificaciones en el régimen de utilización de la tierra, en especial la deforestación y la quema de biomasa (véase el gráfico 3).

Las interacciones entre la atmósfera, los océanos y la biosfera controlan la concentración natural de gases termoactivos en la atmósfera. Las emisiones de gases termoactivos resultantes de las actividades humanas trastornan el equilibrio natural y se traducen en un incremento neto de las concentraciones atmosféricas que aumentan el efecto invernadero natural. Las emisiones antropogénicas pasadas y continuas de gases termoactivos pueden hacer que aumente la temperatura superficial media del mundo, fenómeno denominado generalmente "calentamiento de la atmósfera". El ritmo, la magnitud y la distribución espacial de los cambios distan de ser seguros, aunque la mayoría de los científicos está de acuerdo en que el incremento de las concentraciones de gases termoactivos provocará un cambio en el clima mundial.

Las concentraciones de los principales gases termoactivos han aumentado notablemente desde el período preindustrial. La concentración atmosférica de anhídrido carbónico es actualmente de 356 partes por millón en volumen, es decir, 27% superior a la del período 1750-1800 (Zillman, 1992). Se trata del nivel máximo de anhídrido carbónico en los 160 000 años de registros basados en muestras de hielo (Bazzaz y Fajer, 1992). La concentración de anhídrido carbónico aumenta a razón de cerca de 0.5% anual



(véase el gráfico 4). Las concentraciones de los otros gases termoactivos también aumentan. Actualmente la concentración de metano es casi 120% superior a la del período preindustrial y aumenta en cerca de 0.9% al año. Las concentraciones atmosféricas de óxido nitroso son 8% mayores que durante el período preindustrial y aumentan en casi 0.25% al año. Los clorofluorocarbonos son totalmente artificiales y han sido liberados en la atmósfera en cantidades considerables sólo después de la Segunda Guerra Mundial. La concentración atmosférica actual de CFC-11 es de 290 partes por billón en volumen y se incrementa en 4% por año. La concentración atmosférica de CFC-12 es de 500 partes por billón y aumenta en 4% al año (Zillman, 1992).

Se calcula que el anhídrido carbónico representó aproximadamente 55% del incremento del efecto invernadero durante el decenio 1980-1990, el metano 15%, los CFC 24% y el óxido nitroso 6% (véase el gráfico 3).

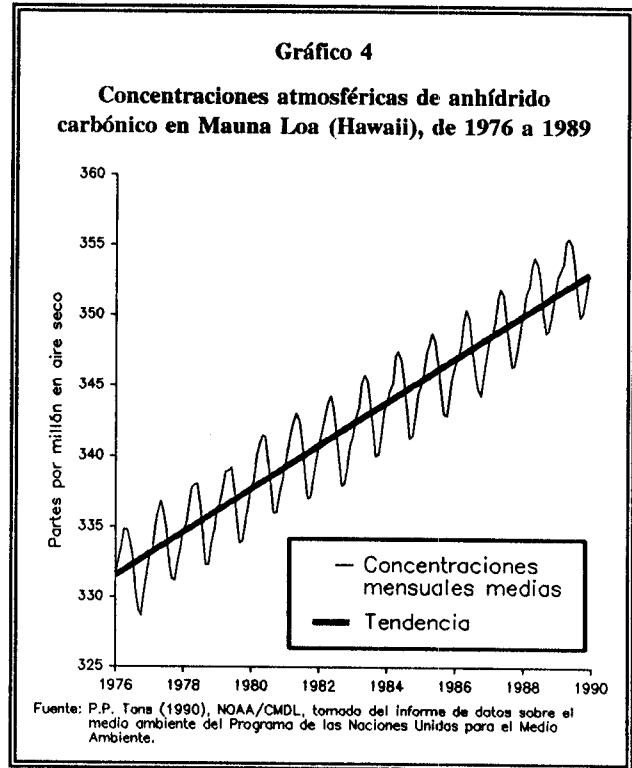
La concentración de vapor de agua en la troposfera se determina al interior del sistema climático y a escala mundial no resulta afectada por las fuentes humanas y sumideros, aunque posee el mayor efecto invernadero. Sin embargo, el vapor de agua aumentará como resultado del calentamiento y reforzará dicho efecto (OMM/PNUMA/IPCC/WGI, 1990).

## 2. ¿Qué tan rápido será el cambio climático mundial?

Las condiciones climáticas de equilibrio simuladas más corrientemente con la ayuda de modelos de circulación general son las correspondientes a una duplicación del equivalente de anhídrido carbónico, punto común de referencia para analizar la amplitud y periodicidad del calentamiento de la Tierra. Estas condiciones corresponden a un punto, quizá situado entre mediados y finales del próximo siglo, donde el efecto radiativo combinado del anhídrido carbónico y otros gases termoactivos será el doble del que correspondía al valor preindustrial del anhídrido carbónico, cerca de 560 comparado con  $275 \pm 10$  partes por millón en volumen (IMI, 1986).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (IPCC) ha construido cuatro escenarios futuros posibles para las emisiones de gases termoactivos (véase el recuadro 1):

- **Hipótesis de altas emisiones "todo sigue igual":** las concentraciones equivalentes de anhídrido carbónico alcanzan en 2030 un valor que dobla el de las concentraciones atmosféricas de anhídrido carbónico del período preindustrial.



Recuadro 1  
**ESCENARIOS DE EMISIONES DEL GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE  
 EXPERTOS SOBRE CAMBIOS CLIMATICOS**

El Grupo de trabajo sobre estrategias de respuesta del IPCC constituyó un grupo de expertos para elaborar escenarios para las emisiones futuras de gases termoactivos. En estos escenarios se describen las distintas maneras en que las emisiones futuras de gases termoactivos pueden evolucionar en el próximo siglo y sirven para ilustrar qué cambios hay que hacer para estabilizarlas permitiendo al mismo tiempo un aumento y mejoramiento constantes del nivel de vida.

**Escenario de emisiones elevadas en 2030**

En este escenario se describe un mundo en que se adoptan pocas medidas o no se adopta ninguna para reducir las emisiones. El constante crecimiento demográfico y económico produce aumentos en la utilización de energía y en la tasa de desmonte de los bosques tropicales. El Protocolo de Montreal entra en vigor pero sin ampliarlo y con una observancia menor de 100%. Los combustibles fósiles siguen predominando en el abastecimiento energético y el carbón adquiere una participación mucho mayor como fuente de energía en el futuro. Las emisiones de gases termoactivos aumentan constantemente durante todo el próximo siglo y las emisiones de anhídrido carbónico se duplican en 40 años. Se estabilizan y disminuyen las emisiones de muchos clorofluorocarbonos a causa del cumplimiento del Protocolo de Montreal, pero aumentan las emisiones de sustitutos como los HCFC-22. Estos aumentos incrementan las concentraciones atmosféricas de gases termoactivos con un efecto equivalente a la duplicación de los niveles de concentraciones de anhídrido carbónico del período preindustrial en 2030 y continúan en aumento durante el resto del próximo siglo.

**Escenario de bajas emisiones en 2060**

En este escenario se describe un mundo en que numerosas preocupaciones ambientales y económicas se traducen en la adopción de medidas para disminuir el aumento de las emisiones. Mejora la eficiencia energética y se produce la adopción universal de medidas de regulación de las emisiones, lo que reduce las emisiones de monóxido de carbono y óxido nitroso. Aumenta la proporción de la energía primaria suministrada por el gas natural. El Protocolo de Montreal se cumple cabalmente. Se pone término a la deforestación de las zonas tropicales y comienza la reforestación a nivel global. Estas medidas reducen el aumento de las emisiones en 50% a 75% y desaceleran significativamente el crecimiento de las concentraciones atmosféricas de gases termoactivos. Las emisiones de anhídrido carbónico no se duplican hasta 2100, pero en 2060 se alcanza el efecto invernadero equivalente a una duplicación de las concentraciones de anhídrido carbónico por encima de los niveles preindustriales y las emisiones continúan en aumento, aunque a un ritmo más lento que en el primer escenario.

**Escenario de políticas de regulación**

Este escenario refleja un futuro en que la preocupación por el cambio climático global y otros problemas ambientales, como el agotamiento de la capa de ozono estratosférico, motiva la adopción de medidas que van más allá de las adoptadas en el Escenario de bajas emisiones en 2060. El desarrollo tecnológico, la comercialización y el empeño de los gobiernos se traducen en penetraciones rápidas de las fuentes renovables de energía en la segunda mitad del próximo siglo. Se amplía el Protocolo de Montreal para incluir la completa eliminación gradual de los clorofluorocarbonos y un congelamiento en la utilización del tricloroetano y el tetracloruro de carbono. Las políticas agrícolas reducen las emisiones de gases termoactivos provenientes de la fermentación entérica en los animales domésticos, arrozales y fertilizantes. Las emisiones de anhídrido carbónico, óxido nitroso y metano aumentan lentamente hasta mediados del próximo siglo y luego empiezan a decaer. Las emisiones de monóxido de carbono y óxido nitroso bajan abruptamente, junto con las de los clorofluorocarbonos. Estas tendencias producen incrementos de las concentraciones de gases termoactivos en 2090 equivalentes a un poco menos de la duplicación del anhídrido carbónico desde los niveles preindustriales y una estabilización de las concentraciones de ahí en adelante.

**Escenario de políticas aceleradas**

Este escenario es análogo a la de políticas de regulación, pero se caracteriza por un desarrollo y penetración mucho más rápidos de las fuentes renovables de energía, estimulados en parte por la aprobación mundial de gravámenes al carbono. La energía de la biomasa representa de 10% a 25% del suministro de energía primaria en 2025, dependiendo de los supuestos de crecimiento económico. Las emisiones de carbono provenientes de la energía siguen en aumento hasta el año 2000, en tanto que las emisiones totales de carbono disminuyen, debido al retiro del carbono a través de la reforestación. Después de 2000, disminuyen las emisiones de carbono provenientes de todas las fuentes durante el siglo siguiente a niveles inferiores a la mitad de los vigentes en 1985. Siguen en aumento las concentraciones atmosféricas de gases termoactivos, pero se estabilizan a mediados del próximo siglo a niveles 25% mayores que los actuales, aunque muy inferiores a una duplicación equivalente del anhídrido carbónico de los niveles preindustriales.

**Fuente:** OMM/PNUMA/IPCC/WG III (Organización Meteorológica Mundial/Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos/Working Group III), Response Strategies/Emissions Scenarios, "Draft Report of the Expert Group on Emissions Scenarios", abril de 1990.

- **Hipótesis de bajas emisiones:** las concentraciones equivalentes de anhídrido carbónico alcanzan en 2060 un valor que dobla el de las concentraciones atmosféricas de anhídrido carbónico del período preindustrial.
- **Hipótesis de políticas de control:** las concentraciones equivalentes de anhídrido carbónico alcanzan en 2090 un valor que dobla el de las concentraciones atmosféricas de anhídrido carbónico del período preindustrial y se estabilizan en adelante.
- **Hipótesis de políticas aceleradas:** las concentraciones equivalentes de anhídrido carbónico se estabilizan a un nivel inferior al doble de las concentraciones atmosféricas de anhídrido carbónico del período preindustrial (OMM/PNUMA/IPCC/WGIII, 1990a).

La agregación de los pronósticos nacionales de las emisiones de anhídrido carbónico y metano hasta el año 2025 indica que las emisiones mundiales serán de 10% a 20% mayores que en el escenario "todo sigue igual" (OMM/PNUMA/IPCC/WGI, 1990). Sin embargo, según otras evaluaciones, la duplicación del anhídrido carbónico se retrasa hasta después de 2100 (Singer, 1992).

### 3. ¿Cómo se prevé el cambio del clima?

Para obtener estimaciones cuantitativas y cualitativas de los cambios climáticos futuros asociados con el calentamiento debido al efecto invernadero se utilizan dos criterios. El primero consiste en utilizar modelos de circulación general o matemáticos tridimensionales del sistema climático mundial. El segundo recurre a la utilización de períodos de calentamiento previo como analogía de cómo el calentamiento futuro puede afectar el clima regional. Cada enfoque tiene sus ventajas e inconvenientes.

Los modelos de circulación general se consideran el instrumento óptimo, pero todavía no son capaces, a causa de su resolución espacial aproximada y otras limitaciones, de predecir de manera confiable los cambios climáticos mundiales, para no mencionar las proyecciones regionales. Por consiguiente, los resultados no representan una prueba científica del cambio climático y deben manejarse con suma precaución. Los resultados obtenidos constituyen sólo posibilidades y no representan en modo alguno una predicción y mucho menos un pronóstico (Le Houérou, 1992).

En los modelos de circulación general la atmósfera global se divide en decenas de miles de casilleros discretos y se utilizan ecuaciones dinámicas de movimiento, energía y masa para proyectar las variaciones del viento, la presión y la proporción de mezcla del vapor de agua. El campo vertical de un modelo típico de circulación se compone desde dos hasta 20 niveles computacionales y se extiende desde la superficie terrestre hasta unos 35 kilómetros, en tanto que el campo horizontal cubre el planeta con casillas cuadradas, cada una de varios cientos de kilómetros por lado (LLNL, 1990). Su definición es demasiado aproximada para producir representaciones precisas de las características regionales y locales del clima, ya que éstas sufren la fuerte influencia de la topografía. Tienen asimismo parámetros relativamente simplistas, entre los que figuran, sin ser excluyentes, la convección, la nubosidad, la circulación oceánica y las interacciones hidrológicas. Además, todavía subsiste considerable incertidumbre acerca de la manera en que responderá la biosfera al calentamiento de la Tierra y al aumento de las concentraciones atmosféricas de gases termoactivos.

Las mismas limitaciones se aplican básicamente a la predicción analógica, frecuentemente criticada porque se basa en procesos climáticos de causa y efecto que pueden ser muy distintos de los que operan

actualmente. Los análogos paleoclimáticos, basados en climas prehistóricos reconstruidos a partir de datos simulados, constituyen una fuente útil de información respecto de las direcciones posibles de los cambios climáticos, especialmente a nivel regional. Sin embargo, el conocimiento de los paleoclimas es limitado. El enfoque y el método adolecen de un alto grado de incertidumbre debido a la falta de detalles cuantitativos y cualitativos.

La abrumadora mayoría de los estudios actuales se centra en los cambios climáticos producidos por la duplicación del equivalente de anhídrido carbónico. La dificultad con este enfoque consiste en que si las emisiones de gases termoactivos siguen sobrepasando la capacidad de absorción, como puede que suceda, las concentraciones a la postre se duplicarán con creces. Esta eventualidad no ha sido sistemáticamente estudiada.

Los modelos de circulación general simulan generalmente la respuesta climática del equilibrio, que resulta del cambio que se produce por una sola vez en las concentraciones de gases termoactivos, pero en realidad habría un desfase entre los cambios en los niveles de concentración de los gases termoactivos y los cambios en las temperaturas superficiales. Lo mismo vale en gran medida para el pronóstico empírico del clima. Este retraso se produce debido a que el clima de la Tierra necesita tiempo para ajustarse a la retención adicional de calor causada por el aumento del efecto invernadero. La influencia principal es la inercia térmica de los océanos, que reduce el ritmo del cambio climático durante 10 a 20 años. Por otra parte, los retrasos en el ajuste y la inercia térmica de los océanos significan que todo calentamiento atmosférico y el cambio climático correspondiente necesitaría varios decenios y posiblemente siglos para alcanzar el nivel de equilibrio, y desde esta perspectiva, los experimentos relativos al equilibrio pueden inducir a error si se toman como pronósticos de cambios climáticos reales (Banco Mundial, 1992a; Nordhaus, 1991 y Banco Mundial, 1992b).

Los cambios transitorios debidos al desfase natural del sistema climático son particularmente importantes para los recursos hídricos. Los distintos niveles de calentamiento mundial pueden tener consecuencias diversas, inclusive opuestas, para la disponibilidad de agua. Por ejemplo, mientras que una elevación de hasta 1°C aproximadamente de la temperatura produciría condiciones más secas en muchas zonas templadas, un incremento adicional hasta 1.5°C probablemente aumentaría la humedad de algunas áreas subtropicales secas y provocaría la recesión de los desiertos subtropicales a ambos lados del ecuador. Un aumento del calentamiento hasta 2.5°C causaría una grave aridez subtropical, en tanto que un incremento de 4°C se traduciría en desertificación entre los 20° de latitud sur y el ecuador y haría que las sequías en el verano fueran frecuentes y cada vez más severas en gran parte de la zona templada (IIASA, 1981). En la cuenca amazónica, para citar un ejemplo, los modelos indican un incremento posible de la humedad del suelo si se duplica el nivel de anhídrido carbónico, pero se produciría un déficit si los niveles se cuadruplicaran (Salatti, 1990). En la mayoría de los estudios actuales se supone que la temperatura media de la tierra aumentaría gradualmente y el clima cambiaría poco y de manera lenta. En este sentido, los modelos no producen discontinuidades, cambios súbitos e imprevistos o catástrofes. Sin embargo, hay pruebas de que podrían producirse cambios climáticos relativamente rápidos a nivel regional (OMM/PNUMA/IPCC, 1992).

También existe la posibilidad de que el calentamiento de la atmósfera haga que algunos sistemas de circulación atmosférica u oceánica alcancen nuevos equilibrios y se produzcan cambios regionales súbitos y extremos. Una de las fuentes principales de cambio discontinuo es el comportamiento de los océanos. Los cambios en la circulación oceánica podrían producir acentuadas anomalías locales en la temperatura de la superficie del mar, en particular cerca de los principales sistemas de corrientes o de las áreas principales de formación de aguas profundas, con efectos considerables sobre el clima local

(Mitchell y otros, 1990). Existen algunas pruebas de que en períodos interglaciares anteriores las corrientes oceánicas pueden haber seguido cursos distintos (Schelling, 1992). Además, al final del último período glacial, los cambios en la circulación oceánica pueden haberse traducido en períodos de cambios climáticos relativamente rápidos. En general, la circulación oceánica todavía no se ha observado, entendido o modelado bien (OMM/PNUMA/IPCC, 1990). Si se modificara el régimen de algunas de las corrientes de los océanos que bañan América Latina y el Caribe, los cambios climáticos regionales subsiguientes podrían ser repentinos y severos.

En los cuadros 1 y 2 se presentan las estimaciones del grado de confianza científica en las proyecciones de la respuesta climática a mayores concentraciones de gases termoactivos. En el cuadro 3 se suministra la gama de posibles variaciones climáticas que reflejan la interpretación actual de los resultados de los últimos adelantos de la técnica del modelaje. Se estima que éstos proporcionan estimaciones razonables acerca de la dirección o magnitud de algunos cambios climáticos antropogénicos importantes en los próximos 50 años —una estimación típica para una duplicación equivalente del anhídrido carbónico— junto con un nivel sencillo de confianza elevado, mediano o bajo para cada variable (Schneider, Gleick y Mearns, 1990).

a) Cambios en la temperatura superficial del aire

Las proyecciones realizadas por el IPCC para las distintas hipótesis de emisión (véase el recuadro 1) son particularmente útiles para comprender el incremento probable de la temperatura superficial media de la Tierra en el supuesto de una duplicación del equivalente de anhídrido carbónico. Incluso en la más optimista de las hipótesis se postula un incremento sin precedentes de la temperatura media de la Tierra en un lapso más breve que en la historia de la humanidad.

- **Hipótesis de altas emisiones "todo sigue igual":** Se pronostica que la temperatura superficial media de la Tierra se incrementará entre 0.2°C y 0.5°C por decenio en el próximo siglo, lo que producirá un aumento de la temperatura de 1°C para el año 2025 y 3°C en 2100.
- **Hipótesis de bajas emisiones:** Se prevé que la temperatura media superficial de la Tierra subirá 0.2°C por decenio, lo que produciría una elevación de 2°C en la temperatura para el año 2100.
- **Hipótesis de políticas de control:** Aun así se produciría un aumento de la temperatura superficial media de la Tierra, pero solamente en un poco más de 0.1°C por decenio.
- **Hipótesis de políticas aceleradas:** Las medidas de control mantendrían la elevación de la temperatura media superficial de la Tierra en cerca de 0.1°C por decenio (OMM/PNUMA/WGI, 1990 y Peerce, 1991).

Cuadro 1

CONFIANZA CIENTIFICA EN LAS PROYECCIONES DE LA RESPUESTA DEL CLIMA A UNA MAYOR CONCENTRACION DE GASES TERMOACTIVOS

| Cambio climático                                      | Confianza de la predicción | Notas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gran enfriamiento estratosférico                      | Prácticamente segura       | La disminución de la concentración de ozono en las capas superiores de la estratosfera se traducirá en una mayor absorción de la radiación ultravioleta del sol y por lo tanto en menor cantidad de calor. El aumento de las concentraciones estratosféricas de anhídrido carbónico y otros oligogases radiativamente activos incrementará la radiación térmica de la estratosfera. La combinación de menor calentamiento y mayor enfriamiento producirá una baja importante de las temperaturas de la estratosfera superior. |
| Calentamiento superficial medio de la Tierra          | Muy probable               | Para una duplicación del equivalente de anhídrido carbónico, se prevé que el calentamiento superficial medio de la Tierra a largo plazo variará entre 1.5°C y 4.5°C.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Aumento de las precipitaciones medias globales        | Muy probable               | El aumento del calor superficial producirá una mayor evaporación y, por lo tanto, mayores precipitaciones medias globales. Algunas regiones podrían experimentar una disminución de las lluvias.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Disminución del hielo marino                          | Muy probable               | A medida que el clima se calienta, se prevé una reducción del hielo marino total.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Calentamiento superficial durante el invierno polar   | Muy probable               | A medida que los límites de los hielos marinos se desplazan hacia los polos es probable que se produzca un aumento del calentamiento superficial en las regiones polares durante el invierno. El calentamiento del aire polar superficial puede llegar hasta tres veces el calentamiento medio de la Tierra.                                                                                                                                                                                                                  |
| Sequedad/calentamiento durante el verano continental  | Probable en el largo plazo | En varios estudios se ha pronosticado un marcado secamiento a largo plazo de la humedad del suelo en algunas regiones continentales interiores de latitud media durante el verano. Esta sequedad es causada principalmente por una terminación prematura del deshielo y períodos lluviosos y un comienzo anticipado de la reducción de la humedad del suelo de la primavera al verano.                                                                                                                                        |
| Aumento de las precipitaciones en las latitudes altas | Probable                   | A medida que el clima se calienta, la mayor penetración hacia los polos de aire caliente y húmedo deberá aumentar la precipitación anual media en las latitudes altas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Elevación del nivel medio del mar a escala mundial    | Probable                   | Se prevé en general una elevación del nivel medio del mar debido a la expansión térmica del agua del mar en un clima futuro más cálido. Mucho menos cierto es el aporte proveniente del derretimiento de los hielos terrestres.                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

Fuente: National Academy of Sciences, *Current Issues in Atmospheric Change*, Washington, D.C., 1987, citado en Organismo de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), *The Potential Effects of Global Climate Change on the United States. Draft Report to Congress. Volume 1: Regional Studies*, Joel B. Smith y Dennis A. Tirpak (comps.), Washington, D.C., 1988.

Cuadro 2

## CONFIANZA EN LAS PROYECCIONES DEL GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE CAMBIOS CLIMATICOS (IPCC)

| Variable climática   | Grado de confianza | Observaciones                                                                                                                              |
|----------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Temperatura          | ★★★★               | Calentamiento de la atmósfera inferior y la superficie de la Tierra.                                                                       |
|                      | ★★★★               | La estratosfera se enfría.                                                                                                                 |
|                      | ★★                 | Cerca de la superficie de la Tierra el calentamiento medio de la atmósfera varía entre +1.5°C y +4.5°C, siendo 2.5°C la estimación óptima. |
|                      | ★★                 | El calentamiento superficial en las altas latitudes es mayor que el promedio global en invierno, pero menor que en verano.                 |
|                      | ★★                 | El calentamiento superficial y la variación estacional son mínimos en el trópico.                                                          |
| Precipitaciones      | ★★★★               | Aumento de las precipitaciones globales medias; cuanto mayor sea el calentamiento mayor será el incremento.                                |
|                      | ★★                 | Aumento en las latitudes altas en todo el año.                                                                                             |
|                      | ★★                 | Aumentan globalmente en 3% a 15% (al igual que la evaporación).                                                                            |
|                      | ★★                 | Aumentan en las latitudes medias en invierno.                                                                                              |
|                      | ★★                 | El valor zonal medio aumenta en el trópico, aunque hay áreas en que disminuye.                                                             |
| Humedad del suelo    | ★★                 | Poca variación en las áreas subtropicales áridas.                                                                                          |
|                      | ★★                 | Aumenta en las latitudes altas en invierno.                                                                                                |
| Nieve y hielo marino | ★★                 | Disminuye en las latitudes medias septentrionales de los continentes en verano.                                                            |
|                      | ★★★★               | Las áreas con hielo marino y la cubierta de nieve estacional disminuyen.                                                                   |

Fuente: J.F.B. Mitchell y otros (comps.), "Section 5. Equilibrium climate change and its Implications for the Future. Peer Reviewed Assessment for WG1 Plenary", 28 de abril de 1990.

Cuadro 3

## GAMA DE VARIACIONES CLIMATICAS CON UNA DUPLICACION DEL EQUIVALENTE DE ANHIDRIDO CARBONICO

| Fenómenos               | Proyección del probable cambio global anual medio | Distribución del cambio |                   | Variabilidad interanual | Fenómenos transitorios importantes | Confianza de la proyección |                   | Número de años de investigación para llegar a un consenso |
|-------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------|
|                         |                                                   | Promedio regional       | Cambio estacional |                         |                                    | Promedio mundial           | Promedio regional |                                                           |
| Temperatura             | +2°C a +5°C                                       | -3°C a +10°C            | Sí                | Descendente(?)          | Sí                                 | Alta                       | Media             | 0-5                                                       |
| Nivel del mar           | 10 a 100 cm                                       | ...                     | No                | ?                       | Improbable                         | Alta                       | Media             | 5-20                                                      |
| Precipitación           | +7% a +15%                                        | -20% a +20%             | Sí                | Ascendente              | Sí                                 | Alta                       | Baja              | 10-50                                                     |
| Radiación solar directa | -10% a +10%                                       | -30% a +30%             | Sí                | ?                       | Posible                            | Baja                       | Baja              | 10-50                                                     |
| Evapotranspiración      | +5% a +10%                                        | -10% a +10%             | Sí                | ?                       | Posible                            | Alta                       | Baja              | 10-50                                                     |
| Humedad del suelo       | ?                                                 | -50% +50%               | Sí                | ?                       | Sí                                 | ?                          | Media             | 10-50                                                     |
| Escurrimiento           | Aumento                                           | -50% a +50%             | Sí                | ?                       | Sí                                 | Media                      | Baja              | 10-50                                                     |
| Tormentas severas       | ?                                                 | ?                       | ?                 | ?                       | Sí                                 | ?                          | ?                 | 10-50                                                     |

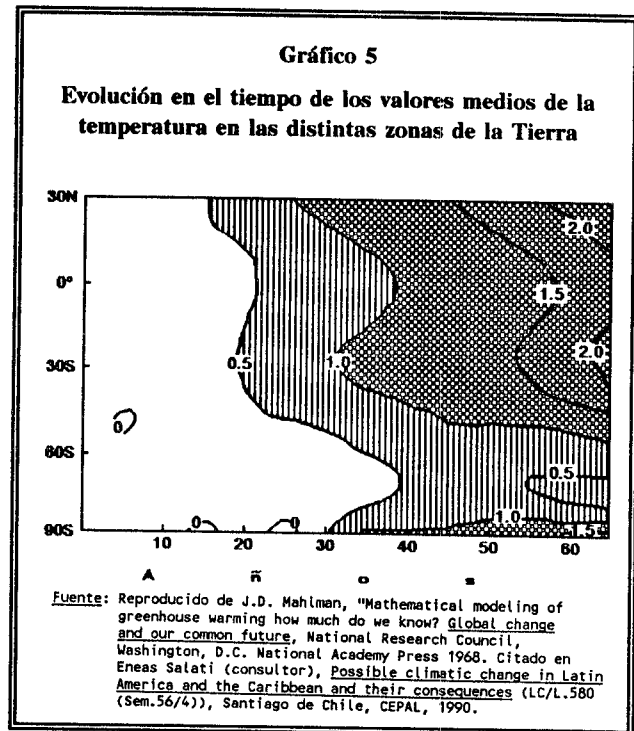
Fuente: Stephen H. Schneider, Peter H. Gleick y Linda O. Mearns, "Prospects for climate change", *Climate Change and U.S. Water Resources*, Paul E. Waggoner (comp.), Nueva York, John Wiley & Sons, 1990.



Todos los modelos coinciden en que habrá una elevación de la temperatura superficial media del aire terrestre como resultado de la duplicación del equivalente de anhídrido carbónico. Se producirá asimismo un calentamiento de la baja atmósfera, pero se enfriará la estratosfera. La mayoría de los modelos actuales revela que una duplicación del equivalente de anhídrido carbónico se traduciría en un incremento promedio de la temperatura de equilibrio mundial que oscilaría entre 1.9°C y 5.2°C, pero la mayor parte de los resultados se sitúa entre 3.5°C y 4.5°C (Mitchell y otros, 1990). El nuevo modelo climático del Instituto Max Planck de Hamburgo, considerado por algunos como el de mayor autoridad, proyecta incrementos de la temperatura media de la Tierra de 0.8°C a 2.9°C para el año 2085 (Sondhof, 1992). Un incremento de la temperatura de esta magnitud podría considerarse banal, pero cabe recordar que la diferencia de la temperatura superficial del aire entre invierno y verano en el hemisferio austral es de sólo 5°C (Schneider, Gleick y Mearns, 1990). Se estima que la temperatura promedio de la Tierra ha aumentado solamente  $0.45 \pm 0.15^\circ\text{C}$  desde finales del siglo XIX y probablemente no ha variado más de 1°C a 2°C en los últimos diez mil años (Folland, Karl y Vinnikov, 1990; Arrhenius y Rincon, 1991 y Sondhof, 1992).

El calentamiento de la atmósfera se extenderá de manera desigual por el mundo y los cambios de la temperatura superficial del aire variarán según la latitud (véase el gráfico 5). Todos los modelos revelan un mayor calentamiento en las altas latitudes a finales del otoño y comienzos del invierno, salvo sobre los océanos australes donde el calentamiento es escaso o nulo en cualquier época del año en las simulaciones en función del tiempo (Mitchell y otros, 1990). El incremento de la temperatura en los polos oscilaría entre 200% y 300% de la media mundial, mientras que sería solamente de 50% a 100% del promedio en las proximidades de la zona tropical (Naciones Unidas, 1990). El calentamiento sería menor que la media mundial en los hielos marinos del Ártico y alrededor de la Antártida durante el verano. En las altas latitudes el calentamiento invernal y promedio anual es mayor, pero el estival es menor que dicho promedio (Mitchell y otros, 1990). Esto afectaría el ciclo de las temperaturas anuales en las altas latitudes. Una vez más, los cambios de temperatura en las bajas latitudes serían probablemente un tanto menores y más lentos en comparación con los promedios mundiales (OCDE/IEA, 1991). Sin embargo, un cambio probable de las corrientes oceánicas podría moderar el clima de ciertos países en las altas latitudes (Naciones Unidas, 1990).

Se estima que la temperatura anual media en las latitudes medias (de 30°S a 60°S) se eleva entre 2°C a 5°C (Parry, Mendzhulin y Sinha, 1990). En las regiones de bajas latitudes, se prevé que aumente 1.5°C. El calentamiento puede superar 1.5°C en algunas regiones semiáridas en las bajas latitudes, donde los suelos son secos y hay, por consiguiente, menor compensación producida por la evaporación (Parry, Mendzhulin y Sinha, 1990).



En el hemisferio austral todo incremento de temperatura sería un tanto menor y más lento, debido a la enorme inercia térmica de los océanos. Estos comprenden cerca de 61 % del hemisferio boreal y 81 % del hemisferio austral (Folland, Karl y Vinnikov, 1990).

En las zonas templadas el período invernal podría hacerse más breve y cálido, mientras la época estival se prolongaría más y sería quizá más calurosa (Simonis y von Weizsäcker, 1990). El calentamiento tropical sería menor que la media mundial y variaría poco estacionalmente, típicamente entre 2°C y 3°C. En las regiones tropicales, el calentamiento de la atmósfera puede incrementar la evaporación de los océanos y limitar el aumento de la temperatura (Mitchell y otros, 1990). En las regiones tropicales no se prevén cambios estacionales de la temperatura (Choisnel, 1990).<sup>1</sup> Sin embargo, hay antecedentes que indican que los cambios climáticos serían menores pero más rápidos en las áreas ecuatoriales que en las zonas templadas (Banco Mundial, 1992a).

En Sudamérica, los incrementos de temperatura durante los meses de diciembre, enero y febrero podrían variar de 2°C en la región del Amazonas hasta 8°C en el Cono Sur (véase el gráfico 6). El incremento puede oscilar hasta 4°C en la mayoría de las regiones con gran producción agrícola, incluidos Argentina, Brasil, Chile, Uruguay y parte de Paraguay (Mahlman, 1988). La duplicación del equivalente de anhídrido carbónico en México y Centroamérica puede hacer que la temperatura del aire aumente en 3.3°C a 5.4°C (Parry, Mendzhulin y Sinha, 1990).

#### Calentamiento directo

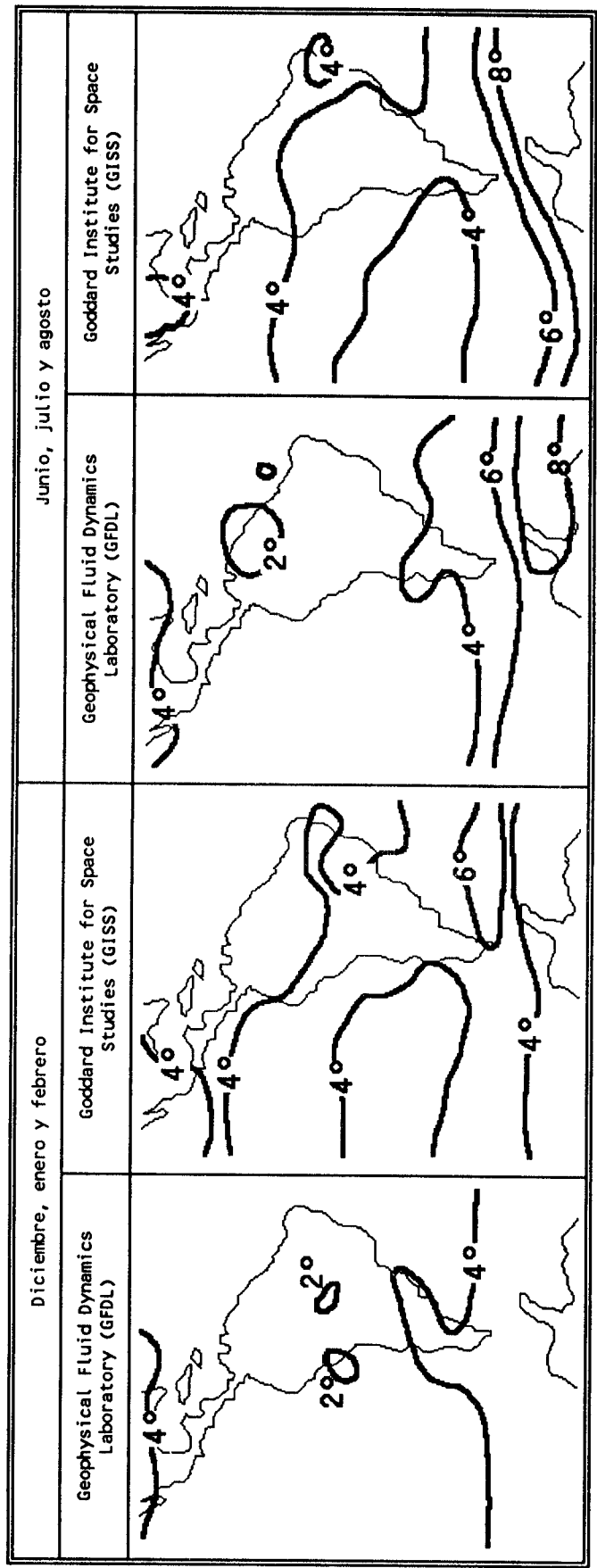
Diversas actividades humanas, especialmente las que se concentran en las áreas urbanas, generan calor directamente. Estas actividades, en combinación con otras transformaciones humanas del medio ambiente natural asociadas con la urbanización, la construcción de edificios y caminos, la eliminación de la vegetación natural, etc., hacen que el promedio anual de la temperatura superficial del aire sobrepase los niveles observados en las áreas rurales vecinas, quizá hasta en 1°C a 2°C o tal vez más aún (Landsberg, 1976).

El llamado "efecto térmico insular de las zonas urbanas" tiene varias otras consecuencias. Concretamente, provoca convección y otros cambios ambientales que ejercen efectos sobre el viento, entre ellos la reducción general de su velocidad, la nubosidad, incluida su contribución a la formación de niebla y mayores formaciones nubosas, y la lluvia, incluidas mayores precipitaciones sobre las zonas urbanas y en las áreas suburbanas y rurales situadas a sotavento (Landsberg, 1976).

En 1990, 72% de la población de América Latina y el Caribe (448 millones de personas) eran habitantes urbanos (Naciones Unidas, 1991a). Según estimaciones de la CEPAL, entre 1950 y el 2000, el área urbanizada de América Latina y el Caribe se habrá incrementado de 3 120 km<sup>2</sup> a más de 27 400 km<sup>2</sup>, casi 0.14% de la superficie total (CEPAL, 1979). El crecimiento continuo de las áreas urbanas causará probablemente profundas perturbaciones del clima local. Es muy posible que una amplificación de la temperatura y otros cambios en el entorno urbano, incluidos los relativos al viento, nubosidad, precipitaciones, etc., imputables al efecto térmico insular, se sumen al incremento proyectado de la temperatura como consecuencia del calentamiento de la atmósfera por el efecto invernadero.

Gráfico 6

América Latina y el Caribe: distribución geográfica de las variaciones de temperatura del aire superficial si se duplicara el equivalente de anhídrido carbónico



Fuente: Adaptado de Michael E. Schlesinger y John F.B. Mitchell, "Climate model simulations of the equilibrium climatic response to increased carbon dioxide", *Reviews of Geophysics*, vol. 25, # 4, 1987.

Nota: Los límites y nombres de lugares que figuran en el presente mapa no implican aprobación o aceptación oficial de parte de las Naciones Unidas.

## b) Cambios en las precipitaciones

Es más difícil simular cambios en el ciclo hidrológico y los resultados del modelo de circulación general son muy rudimentarios y no confiables, aun a escala mundial. Los pronósticos de la temperatura del aire de los diferentes modelos climáticos muestran concordancia al menos a nivel cualitativo, mientras que para las precipitaciones los resultados inclusive de diversas versiones del mismo modelo varían a menudo ampliamente (Schlesinger, 1984).<sup>2</sup>

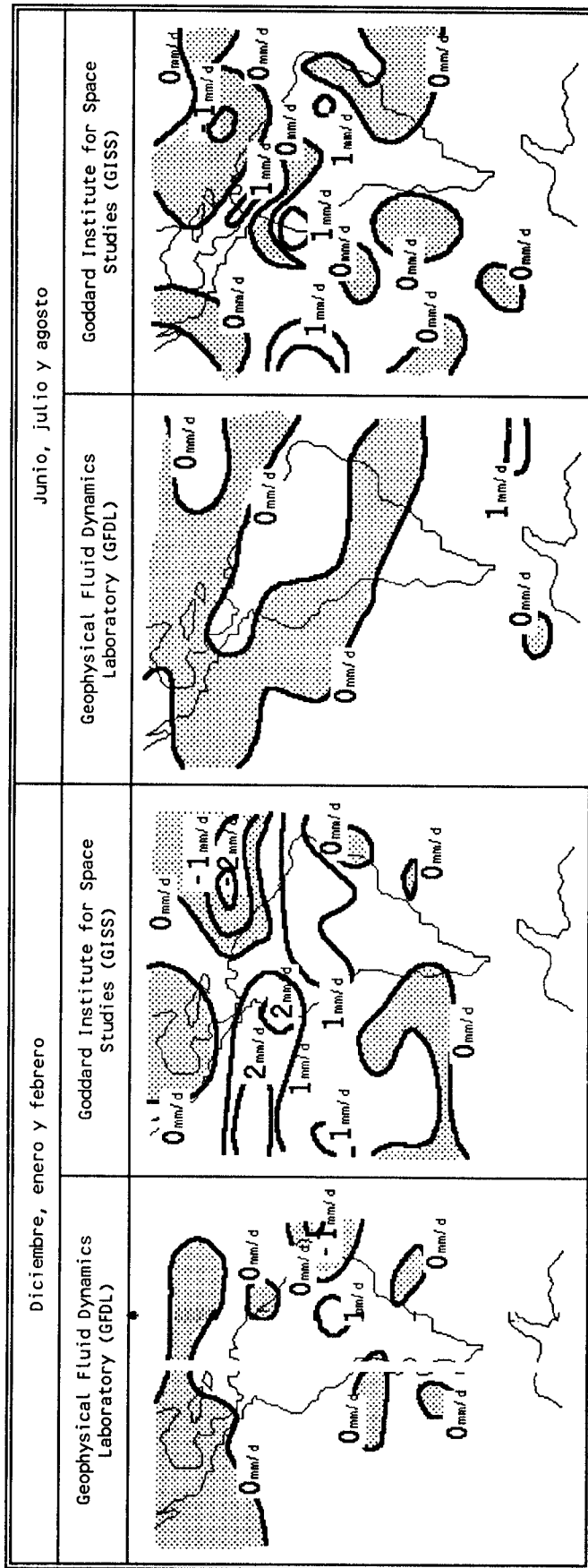
Un incremento del flujo infrarrojo superficial aumentaría la energía disponible para la evaporación (Royer y Mahfouf, 1992). Debido a que la capacidad de la atmósfera para retener vapor de agua es una función de la temperatura que aumenta de manera exponencial, el calentamiento de la atmósfera se traducirá en un incremento bastante uniforme de la evapotranspiración y, por consiguiente, en una desecación potencial del suelo. La mayor evapotranspiración transportará grandes cantidades de vapor de agua a la atmósfera y todos los modelos proyectan una atmósfera sustancialmente más húmeda, con una mayor humedad específica, aunque no relativa, de la baja atmósfera (Mitchell y otros, 1990; Cline, 1992a). Un incremento de 2°C en la temperatura elevaría la concentración de vapor de agua en 10% a 30% (Hashimoto, Styrikovich y Nishioka, 1990). La atmósfera posee una capacidad limitada para absorber vapor de agua (la presión de saturación del vapor), aunque aumenta exponencialmente con la temperatura, y el excedente regresará a la superficie en forma de precipitaciones. Las precipitaciones aumentarían en las áreas de convergencia frontal, donde el aire húmedo asciende y se enfría, y elimina la concentración excesiva resultante de vapor de agua por encima del punto de saturación ahora disminuido (Cline, 1992a). Ello implica una mayor precipitación media global y cambios regionales y estacionales en los regímenes pluviométricos. Por ejemplo, un incremento de 0.5°C de la temperatura superficial media de la atmósfera terrestre puede aumentar la precipitación atmosférica anual hasta en 10% (WRI, 1990). De manera que el ciclo hidrológico se intensificará en forma directamente proporcional al calentamiento.

El calentamiento de la atmósfera debería incrementar la humedad y las precipitaciones, sin que hubiera forzosamente mayor nubosidad. Las simulaciones realizadas con los modelos de circulación general indican que puede ocurrir lo contrario (Cline, 1992a). Un aumento del efecto invernadero calentaría la baja atmósfera y enfriaría la estratosfera. Como la relación de mezcla del punto de saturación varía positivamente con la temperatura y en forma negativa con la presión, una estratosfera más fría significaría una relación de mezcla menor del punto de saturación y por lo tanto mayor humedad relativa para determinado contenido de vapor de agua. Ello significa que habría una mayor formación nubosa a grandes altitudes. Al mismo tiempo, con una baja atmósfera más cálida se produciría una menor formación nubosa a bajas altitudes.<sup>3</sup> Las simulaciones con los modelos de circulación general tienden a revelar que el calentamiento de la atmósfera puede reducir la nubosidad total y redistribuirla hacia arriba (Cline, 1992a).

Los modelos de circulación general proyectan un incremento de la evaporación y precipitación que oscila entre 3% y 15%.<sup>4</sup> En general, los modelos que pronostican los mayores incrementos de temperatura predicen también los mayores aumentos de las precipitaciones (Zillman, 1992). Pero mayores precipitaciones no significan forzosamente mayor humedad en la superficie terrestre, puesto que la evaporación media global aumentará proporcionalmente (Mitchell y otros, 1990).

La distribución de cambios en las precipitaciones no sería uniforme (véase el gráfico 7). Las precipitaciones aumentarían más en la franja situada entre 30°N y 30°S, pero disminuirían en las zonas circundantes, al menos en determinados períodos del año (Rosenberg, 1986). El incremento puede ser

Gráfico 7  
 América Latina y el Caribe: distribución geográfica de la variación del régimen de precipitaciones si se duplicara el equivalente de anhídrido carbónico



Fuente: Adaptado de Michael E. Schlesinger y John F.B. Mitchell, "Climate model simulations of the equilibrium climatic response to increased carbon dioxide", *Reviews of Geophysics*, vol. 25, # 4, 1987.

Nota: Las zonas punteadas indican una disminución del régimen de precipitaciones.

Los límites y nombres de lugares que figuran en el presente mapa no implican aprobación o aceptación oficial de parte de las Naciones Unidas.

máximo en las regiones ecuatoriales, pero puede disminuir a medida que se avanza hacia latitudes más altas, donde pueden seguir actuando los mecanismos de precipitaciones de las zonas áridas y semiáridas (Parry, Mendzhulin y Sinha, 1990). Sin embargo, los modelos a menudo discrepan respecto de los posibles cambios en los niveles pluviométricos en las latitudes tropicales y subtropicales (Le Houéroe, 1992).

En todos los modelos hay concordancia en que las precipitaciones se incrementarán en las altas latitudes y en el trópico durante todo el año, así como en las latitudes medias durante el invierno (Mitchell y otros, 1990). En las bajas latitudes las precipitaciones pueden incrementarse 5% a 10% y en las latitudes altas y medias 5% en verano y hasta 15% en invierno. En las latitudes medias inferiores, como los climas semiáridos mediterráneos, las precipitaciones pueden ser limitadas en verano y disminuir 5% a 10% en invierno (WRI, 1990). Algunos estudios indican que las precipitaciones estivales pueden disminuir en las latitudes medias (Rosenberg y otros, 1989). El incremento de las precipitaciones se produciría en las regiones de baja convergencia, incluidas las trayectorias de las tormentas en las latitudes medias y la zona de convergencia intertropical (Mitchell y otros, 1990).

Los modelos indican que las precipitaciones pueden intensificarse en las áreas tropicales y en las bajas latitudes actualmente lluviosas. En las zonas tropicales semiáridas el calentamiento de la atmósfera puede entrañar menores precipitaciones en una o más estaciones (OCDE/IEA, 1991). Sin embargo, según otros estudios, las precipitaciones aumentarían en casi todas las zonas tropicales semiáridas, a expensas de la variante conveccional, lo que supone mayor intensidad pero no mayor frecuencia de las mismas (Johda, 1989). En las zonas tropicales húmedas, el calentamiento de la Tierra puede incrementar la frecuencia e intensidad de las tormentas tropicales (OCDE/IEA, 1991). Además, aunque en las regiones tropicales los incrementos de temperatura fueran menores que el promedio mundial, aumentaría la evapotranspiración potencial e incrementarían las precipitaciones conveccionales en las áreas más húmedas (CIUC/PNUMA/OMM/PMC, 1986). En muchos modelos, las precipitaciones máximas en las zonas tropicales tienden a desplazarse más hacia el hemisferio donde reina el verano, mientras que en otros la franja lluviosa de las zonas tropicales tiende a desplazarse hacia el hemisferio donde impera el invierno o en dirección sur durante todo el año. Los cambios de las precipitaciones serían generalmente pequeños en las zonas subtropicales secas en que algunas áreas tendrían mayores y otras menores precipitaciones que en la actualidad (Mitchell y otros, 1990).

Algunos modelos pronostican que el calentamiento de la atmósfera aumentaría las precipitaciones en las zonas costeras (Rind y Lebedeff, 1984). Aumentarían las precipitaciones en los márgenes orientales de los continentes, pero las regiones continentales interiores se volverían más secas (Tbysan y Titus, 1990).

En Argentina, Chile y la región septentrional de los Andes las precipitaciones aumentarían en las áreas húmedas actuales y disminuiría en las zonas semiáridas y en las zonas andinas al abrigo de las lluvias. Las precipitaciones aumentarían también en la zona centrooccidental del Brasil. Subsiste la incertidumbre en cuanto a las proyecciones para México y Centroamérica, donde el régimen de lluvias puede aumentar considerablemente o apenas disminuir (Parry, Mendzhulin y Sinha, 1990). Sin embargo, algunos autores prevén menores precipitaciones en las regiones central y meridional de Chile, pero un aumento de ellas en la zona austral (Fuenzalida y otros, 1989; Aguilera y otros, 1992). Una intensificación de los sistemas meteorológicos conveccionales podría beneficiar el altiplano de Chile septentrional (Fuenzalida y otros, 1989).

El calentamiento debido al efecto invernadero produciría una aceleración de las corrientes ascendentes de las zonas costeras. Las condiciones de niebla moderadamente fría en el verano, que caracterizan las áreas costeras de las regiones donde se producen corrientes ascendentes, como frente a la parte occidental de Sudamérica, se harían por consiguiente más pronunciadas. Por el contrario, las zonas interiores, afectadas directamente por el estrato y la niebla costeros, se volverían más áridas durante las temporadas de corrientes ascendentes (Bakun, 1990).

También variarían otras características de las precipitaciones a nivel mundial y regional, entre ellas la variabilidad anual, estacional y diaria, la frecuencia e intensidad de las tormentas, la duración de los fenómenos lluviosos dentro de determinada estación y la proporción de las precipitaciones que se deposita en forma de lluvia, rocío y nieve. Las variaciones del régimen de lluvias, la evapotranspiración, los vientos, la humedad y la nubosidad pueden provocar cambios importantes del escurrimiento mundial y regional y sus características, incluida la variabilidad espacial, anual y estacional.

Las variaciones del régimen de vientos pueden perturbar notoriamente el régimen de las precipitaciones. Desafortunadamente, se sabe poco de la posible influencia del calentamiento de la atmósfera sobre el régimen de vientos y los cambios de la circulación a baja altura en determinado lugar. La mayoría de los modelos simula un debilitamiento de la gradiente de presión norte-sur en las zonas extratropicales del hemisferio austral durante todo el año. Esto significaría un debilitamiento de los vientos del oeste en las latitudes medias. También disminuye la intensidad de los anticiclones subtropicales y de la zona de bajas presiones del torbellino polar antártico (Mitchell, 1990).<sup>5</sup> El desplazamiento hacia los polos del vórtice circumpolar y la trayectoria de las tormentas que se asocia con este fenómeno también confirman la disminución de las ventoleras en las latitudes medias (Rosenberg, 1987).

### c) Alimentación de las aguas subterráneas

Los modelos actuales de circulación general no simulan directamente cambios en la disponibilidad y distribución de las aguas subterráneas, pero sí pueden estimarse los efectos del calentamiento de la atmósfera sobre la alimentación de las aguas subterráneas desde los cambios pronosticados en las precipitaciones.

- **En las latitudes medias y áreas continentales medias**, hay algunos antecedentes que prueban que la disminución de las precipitaciones (lluvia y nieve) reduciría significativamente el ritmo de alimentación de las aguas subterráneas (Parry, Mendzhulin y Sinha, 1990). En algunas regiones marítimas de latitud media, debido a la presencia de un clima más cálido, una proporción cada vez mayor de las lluvias totales puede provenir de las tormentas conveccionales. Ello puede provocar una intensificación del régimen de lluvias, mayor escurrimiento y menor infiltración (Beran y Arnell, 1989).
- **En las regiones tropicales**, aumentaría la altura e intensidad de las lluvias totales produciéndose como consecuencia mayor escurrimiento, menor infiltración y menor disponibilidad de aguas subterráneas (Parry, Mendzhulin y Sinha, 1990).

La merma en la alimentación de las aguas subterráneas, unida a una mayor demanda de éstas, puede acelerar el ritmo de agotamiento del acuífero.

d) Cambios en la humedad del suelo

La representación y validación de la humedad del suelo en los modelos climáticos actuales son relativamente rudimentarias (Gates, Rowntree y Zeng, 199). En algunos estudios se señala que en ciertas áreas los efectos del calentamiento de la atmósfera sobre el equilibrio hidrológico final pueden ser tales que habrá menor cantidad de aguas subterráneas disponibles y una tendencia a que los suelos se vuelvan semiáridos y áridos (Mahlman, 1988). A medida que aumenta la temperatura, habrá menor cantidad de agua en la superficie de la tierra, lagos y ríos y más transferencia hacia la atmósfera en forma de vapor de agua y disminuirá la disponibilidad de agua.

Se daría un incremento potencial de 5% de la evapotranspiración por cada grado de calentamiento. Solamente en las zonas tropicales húmedas y en las latitudes altas y medias altas este incremento se compensaría con mayores precipitaciones (Parry, Mendzhulin y Sinha, 1990). En otras áreas, el calentamiento de la atmósfera provocaría una mayor evapotranspiración y, por consiguiente, una desecación potencial del suelo. Ello implica una menor disponibilidad de agua, especialmente en las latitudes medias en pleno verano y en las bajas latitudes. Incluso en el trópico, donde el incremento de la temperatura sería menor que en otros lugares y donde la pérdida de humedad disminuiría un tanto debido a la mayor humedad y nubosidad durante la estación lluviosa, la pérdida sería considerable en la estación seca. En algunas regiones semiáridas y áridas la combinación de menor cantidad de lluvias y mayor ritmo de evapotranspiración se traduciría en una desecación y desertificación pronunciadas (Parry, Mendzhulin y Sinha, 1990). Si se duplica el contenido de anhídrido carbónico de la atmósfera, algunos estudios revelan un incremento de la humedad en la mayor parte de Sudamérica (Georgiadi, 1991).

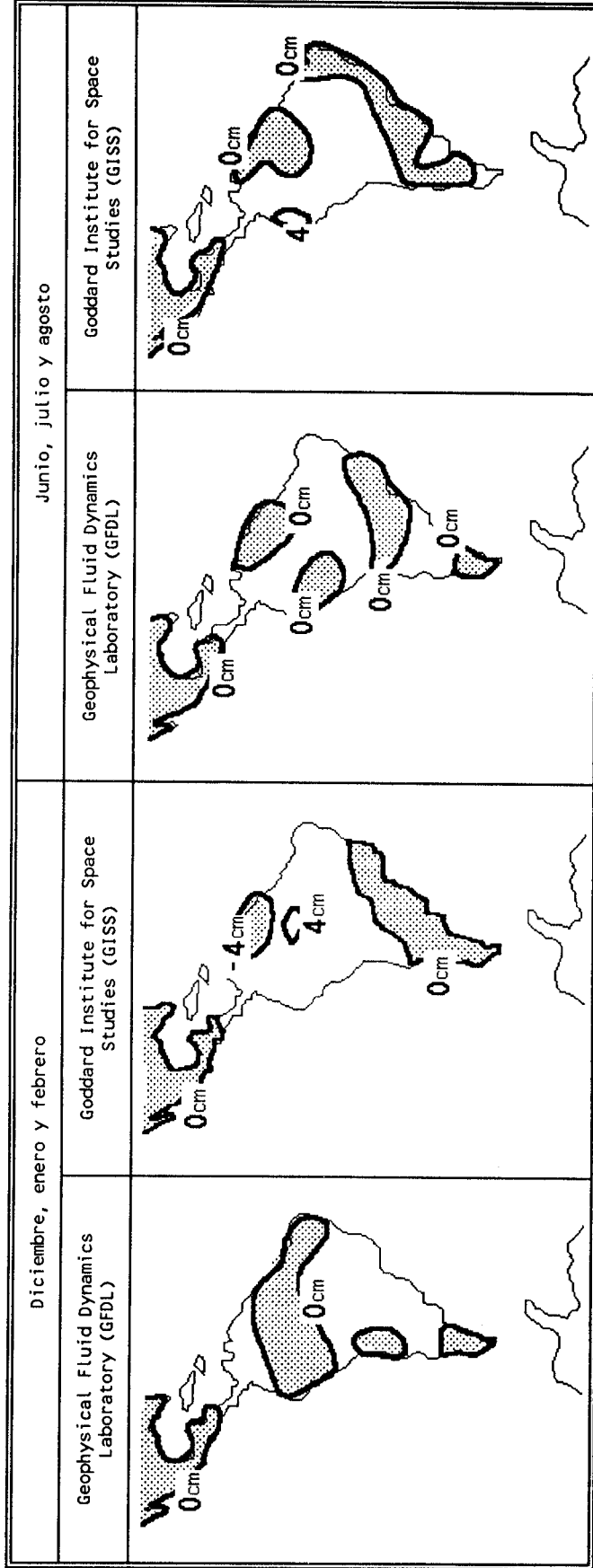
Algunos científicos sostienen que todo aumento de las precipitaciones se concentraría alrededor del ecuador y pasados los 50° de latitud en ambos hemisferios. Puesto que la evaporación aumenta de manera bastante uniforme con la latitud, hay tendencia a que se produzca un déficit en el balance hídrico del suelo en las latitudes medias, con una zona variable de disminución estacional de la humedad del suelo. En las latitudes medias, la reducción del manto de nieve en invierno y el deshielo prematuro en primavera, junto con una evaporación más intensa, provocaría mayor sequedad del suelo en primavera y otoño, en tanto que en verano la desecación sería más intensa y ocurriría más tempranamente. Este último factor aumentaría la duración e intensidad de las sequías estivales en las tierras del interior de los continentes (Royer y Mahfouf, 1992).

La estructura regional de los cambios hídricos del suelo que se producirían con un calentamiento de la atmósfera es sumamente incierta, pero hay regiones en que tres modelos revelan una disminución del agua del suelo (véase el gráfico 8). En América Latina y el Caribe, estas áreas incluyen la región septentrional de Argentina, donde disminuiría en diciembre, enero y febrero; Centroamérica y la parte oriental del Brasil, donde disminuiría durante junio, julio y agosto (Kellogg y Zhao, 1988; Parry, Mendzhulin y Sinha, 1990; Schlesinger y Mitchell, 1985). En México y Centroamérica el calentamiento de la atmósfera reduciría la humedad del suelo en 10% o 20% (Parry, Mendzhulin y Sinha, 1990). Centroamérica también es especialmente vulnerable a la disminución de la humedad del suelo (Cline, 1992b). El aumento de la temperatura mundial reduciría también la disponibilidad de agua para el crecimiento de las plantas en la zona septentrional de México y en la región semiárida del nordeste del Brasil (Salati, 1990).



Gráfico 8

América Latina y el Caribe: distribución geográfica de la variación de agua del suelo si se duplicara el equivalente de anhídrido carbónico



Fuente: Adaptado de Michael E. Schlesinger y John F.B. Mitchell, "Climate model simulations of the equilibrium climatic response to increased carbon dioxide", *Reviews of Geophysics*, vol. 25, # 4, 1987.

Nota: Las zonas punteadas indican una disminución de cantidad de agua del suelo.

Los límites y nombres de lugares que figuran en el presente mapa no implican aprobación o aceptación oficial de parte de las Naciones Unidas.

La comparación entre la humedad simulada del suelo con la humedad observada indica que las simulaciones de los modelos revelan generalmente mayores variaciones estacionales, especialmente en el trópico. Los errores en la simulación de la humedad del suelo varían considerablemente entre los modelos (Gates, Rowntree y Zeng, 1990). Los modelos no tienen generalmente en cuenta los efectos directos del anhídrido carbónico sobre la vegetación. Esto tiene particular importancia, puesto que se prevé que un aumento del anhídrido carbónico incrementaría la eficiencia en la utilización del agua que, sin otros cambios, podría reducir la evapotranspiración superficial (Mitchell y otros, 1990).

e) Cambios en la variabilidad

En determinado lugar, los cambios en la variabilidad del clima y la frecuencia de fenómenos extremos tendrán generalmente mayores repercusiones sobre la utilización del agua que las variaciones lentas del clima medio (véase recuadro 2). Estos cambios pueden adoptar tres formas básicas:

- La media de la distribución de frecuencias puede variar sin que varíe la forma de la distribución, lo que se traduciría en un incremento de la frecuencia de sucesos extremos en una punta de la distribución de frecuencias, con una disminución correspondiente en la otra.
- La forma de la distribución de frecuencias puede variar sin que varíe la frecuencia de distribución. Por ejemplo, un incremento de la desviación estándar o dispersión de la distribución de frecuencias implica que se producirán más fenómenos extremos en ambas puntas de la distribución.
- La media y la forma de la distribución de frecuencias pueden variar simultáneamente (Mitchell y otros, 1990).

No se ha llegado a ninguna conclusión respecto de posibles cambios del grado de variabilidad climática anual (Choisnel, 1992). Y sin embargo, éste es uno de los aspectos más importantes para muchas utilidades del agua. Entre los cambios posibles figuran un incremento de la temperatura media mundial, sin cambio de la variabilidad; un aumento del número de días con temperaturas que superan determinado umbral en el extremo superior de la distribución, en tanto que en el extremo inferior disminuirá el número de días con temperaturas inferiores a determinado valor (OMM/PNUMA/IPCC/WGI, 1990). Esto supondría más días tórridos, pero menos noches escarchadas.

La simulación de la media y variabilidad de las precipitaciones muestra algunos indicios de que la variabilidad anual aumenta cuando aumentan las precipitaciones medias y viceversa, aunque esto no siempre sucede. Los modelos simulan asimismo un incremento constante de la frecuencia de las precipitaciones conveccionales, que generalmente ocurren a expensas de las precipitaciones provenientes de movimientos verticales en gran escala. Ello aumentaría más las tormentas de lluvias locales a expensas de precipitaciones más suaves pero más persistentes asociadas con perturbaciones en gran escala (Mitchell y otros, 1990).

Recuadro 2  
**CAMBIO CLIMATICO Y DESASTRES NATURALES RELACIONADOS CON EL AGUA**

Existen pruebas empíricas fundadas de que las probabilidades de que ocurran ciertos fenómenos meteorológicos extremos no se relacionan de manera lineal con las temperaturas medias, y que aumenten a medida que éstas se elevan.<sup>a</sup> Además, la mayor intensidad de los procesos convectivos y las mayores cantidades de vapor de agua aumentarían generalmente la frecuencia y severidad de ciclones, tornados, tormentas, granizadas y oleajes huracanados en las zonas tropicales.

Desde el punto de vista de los sistemas cibernéticos, el clima puede considerarse como un sistema complejo no lineal de retroalimentación múltiple en que domina la retroalimentación positiva. Un cambio súbito y forzado en ese sistema lo desestabilizaría. Puesto que la magnitud de la desestabilización tiende a ser proporcional a la tasa de variación de la función forzada y teniendo en cuenta que se prevé que la tasa de variación máxima de la concentración de anhídrido carbónico ocurrirá entre 2000 y 2060, durante estos decenios el tiempo sería siempre muy variable.<sup>b</sup>

**Tormentas**

Ciclones tropicales

Muchos estudios coinciden en señalar que con un calentamiento de la Tierra puede aumentar considerablemente la intensidad de los ciclones tropicales. Los cambios en la intensidad máxima de los ciclones tropicales se relacionan con las variaciones de la temperatura de la superficie del mar.<sup>c</sup>

En algunos estudios se señala que el aumento de la temperatura mundial puede cambiar las trayectorias previamente observadas de las tormentas tropicales y estimular la formación y el desplazamiento de las perturbaciones hacia latitudes más elevadas que en la actualidad. La elevación del nivel del mar agravaría más aún los daños causados por los huracanes en las zonas costeras.

Sin embargo, en general, no existen indicios consistentes respecto de si la incidencia o intensidad de los ciclones tropicales aumentará o no, y no existen antecedentes de que se hayan producido cambios en los decenios anteriores. El razonamiento de que los cambios climáticos inducidos por el efecto invernadero aumentarán la frecuencia e intensidad de las tormentas tropicales todavía aguarda una demostración convincente.<sup>d</sup>

Tormentas en las latitudes medias

Los factores que rigen las tormentas en las latitudes medias difieren considerablemente de aquéllos que determinan las tormentas tropicales. Las tormentas en las latitudes medias son impulsadas por un contraste de temperaturas entre el ecuador y el polo y el calentamiento de la atmósfera probablemente debilitará este contraste debido a que la temperatura superficial aumentaría más en las altas latitudes que en el ecuador.<sup>e</sup> Ello significaría que las tormentas en las latitudes medias se debilitarían o modificarían sus trayectorias. Por otra parte, se prevé que el calentamiento de la Tierra aumentaría más el contraste de temperaturas en la alta atmósfera y el incremento consiguiente de la gradiente vertical de la temperatura aumentaría la intensidad de las tormentas.<sup>f</sup> El aumento del vapor de agua atmosférico suministraría también energía adicional a la formación de las tormentas. El estado actual de los conocimientos no permite determinar los factores que serán más importantes o la manera como pueden modificar la frecuencia, intensidad y ubicación de las tormentas en las latitudes medias.<sup>g</sup> Sin embargo, hay algunos indicios de una reducción general en la variabilidad cotidiana de la trayectoria de las tormentas invernales de las latitudes medias durante simulaciones realizadas mediante el uso de modelos.<sup>h</sup>

**Sequías**

Los efectos del calentamiento de la Tierra sobre el balance hidrológico final serían de tal magnitud que habría menor cantidad de agua disponible y una tendencia hacia una mayor aridez. El aumento de la temperatura mundial puede incrementar la incidencia e intensificación de las sequías en algunas áreas terrestres en latitudes medias y bajas. Según el IPCC, el mayor riesgo de sequías representa potencialmente el efecto más grave del cambio climático en la agricultura.<sup>h</sup>

Aun cuando el cambio climático produjera modificaciones relativamente pequeñas de los caudales anuales, ello podría repercutir de manera impresionante en la duración y severidad de las sequías.

Los últimos adelantos en materia de modelaje climático mundial no son todavía lo suficientemente buenos como para concitar coincidencia respecto de cómo cambiarán la incidencia e intensidad de las sequías en virtud de un calentamiento producido por el efecto invernadero. Hay algunos datos que señalan que la incidencia e intensidad de las sequías no aumentarán necesariamente a medida que el clima se caliente y, según algunos investigadores, un examen detallado de las proyecciones de algunos modelos climáticos globales plantea la posibilidad de que el próximo cambio climático ejerza en realidad un efecto

## Recuadro 2 (Concl.)

**Inundaciones**

Una elevación de la temperatura del aire y la evapotranspiración puede provocar tormentas más grandes, mayor cantidad de chaparrones intensos y mayor riesgo de crecidas repentinas. A medida que sube el nivel del mar, pueden incrementarse sustancialmente las inundaciones costeras.

La contribución relativa de los cambios en las precipitaciones y la temperatura respecto de la variación de la frecuencia e intensidad de las crecidas varía entre las zonas climáticas y dependen de si la mayor parte del escurrimiento anual proviene exclusivamente de las lluvias o de si existe un aporte importante de las crecidas primaverales por fusión de las nieves.

En las zonas en que la mayor parte del escurrimiento anual proviene de las lluvias, el incremento de las precipitaciones medias y su variabilidad pueden producir mayor escorrentía y, por lo tanto, crecidas más frecuentes. El cambio de un régimen pluviométrico distribuido con más regularidad hacia uno de tormentas de lluvia menos frecuentes pero más torrenciales puede aumentar las crecidas. Debido a que subsiste gran incertidumbre respecto de los cambios en el régimen de precipitaciones regionales y la humedad del suelo, no se han podido hacer pronósticos útiles acerca de los cambios en la intensidad y frecuencia de las crecidas sobre una base regional.

En las áreas en que las nevadas predominan en las precipitaciones todo incremento perceptible de la temperatura puede producir graves cambios en la configuración estacional del escurrimiento si la nieve se derrite prematuramente en la primavera y se producen más precipitaciones en forma de lluvia.

Las estructuras de regulación de las crecidas son sensibles a un mayor escurrimiento y a condiciones meteorológicas extremas y quizá no resistan crecidas y tormentas más severas y frecuentes. Los cambios en la intensidad y frecuencia de las crecidas, el nivel del mar, las mareas y la dirección, intensidad y frecuencia de las tormentas obligarían a modificar las ordenanzas de lucha contra las crecidas, los sistemas de alerta, las normas de edificación, las políticas de descarga de los embalses y los seguros contra inundaciones.

**Deslizamientos de tierra y avalanchas de lodo**

La intensificación de las lluvias en las regiones montañosas incrementaría el riesgo de que se produzcan deslizamientos de tierra y avalanchas de lodo. En las regiones más frías, de producirse una recesión de los glaciares quedarían al descubierto grandes masas de residuos en las pendientes empinadas, las que en consecuencia se tornarían inestables y vulnerables a los efectos de la erosión.<sup>k</sup> Con ello aumentarían el flujo de desechos y los deslizamientos de tierra. El receso de los glaciares también contribuiría a que se produjeran avalanchas de lodo.

**Fuentes:** <sup>a</sup> Arrhenius, Erik y Thomas w. Waltz, *The Greenhouse Effect: Implications for Economic Development*, serie World Bank Discussion Papers, N° 78, Washington, D.C., Banco Mundial, 1990.

<sup>b</sup> O.W. Markley y T.J. Hurley III, "A brief technology assessment of the carbon dioxide effect", *Technol. Forecasting Soc. Change*, N° 23, 1983, citado en S.K. Sinha, N.H. Rao y M.S. Swaminathan, "Food security in the changing global climate", *Proceedings. World Conference, Toronto, Canada, June 27-30, 1988. The Changing Atmosphere: Implications for Global Security*, WMO, N° 710, Ginebra. Organización Meteorológica Mundial (OMM), Gobierno del Canadá, Environment Canada, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 1989.

<sup>c</sup> Kerry A. Emanuel, "The dependance of hurricane intensity on climate", *Nature*, vol. 326, N° 6112, abril de 1987.

<sup>d</sup> Banco Mundial, *Informe sobre el desarrollo mundial, 1992. Desarrollo y medio ambiente*, Nueva York, Oxford University Press, 1992.

<sup>e</sup> National Academy of Sciences, National Academy of Engineering, Institute of Medicine, *Policy Implications of Greenhouse Warming*, Washington, D.C., National Academy Press, 1991.

<sup>f</sup> William R. Cline, *The Economics of Global Warming*, Washington, D.C., Institute for International Economics, 1992.

<sup>g</sup> Organización Meteorológica Mundial/Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos/Working Group I (OMM/PNUMA/IPCC/WG I), "Policymakers Summary of the Scientific Assessment of Climate Change", 1990.

<sup>h</sup> Organización Meteorológica Mundial/Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (OMM/PNUMA/IPCC), "Overview and Conclusions. Climate Change: A Key Global Issue", julio de 1990, versión preliminar.

<sup>i</sup> Norman J. Rosenberg, "Drought and climate change: for better or worse?", *Planning for Drought. Toward a Reduction of Societal Vulnerability*, Donald A. Wilhite, William E. Easterling y Deborah A. Wood (comps.), Boulder, Colorado, Westview Press, 1987.

<sup>j</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura/Organización Meteorológica Mundial (UNESCO/OMM), *Hydrological Aspects of Drought*, 1985, contribución al Programa Hidrológico Internacional preparada por un grupo mixto de la UNESCO y la OMM.

<sup>k</sup> Organización Meteorológica Mundial/Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (OMM/PNUMA/IPCC), *Policymakers Summary of the Potential Impacts of Climate Change*, 1990, informe preparado para el IPCC por el Grupo de Trabajo II.

La simulación de los cambios probables en los vientos y las perturbaciones proporcionan alguna indicación respecto de una reducción general de la variabilidad cotidiana e interanual en la trayectoria de las tormentas invernales en las latitudes medias. Los estudios existentes indican una disminución de la intensidad o frecuencia (o ambas) de las perturbaciones resueltas en un cuadrillado modelo, típicamente mayor de unos 1 000 km, pero no permiten llegar a la misma conclusión respecto de las perturbaciones sinópticas en pequeña escala. También hay escasos datos, basados en consideraciones empíricas, de que pueden aumentar la frecuencia, la intensidad y el área en que se presentan las perturbaciones tropicales (véase recuadro 2) (Mitchell y otros, 1990).

Los cambios en la posición de los regímenes climáticos en gran escala, como las trayectorias de los anticiclones o depresiones, también afectarían la variabilidad y las condiciones extremas del tiempo en determinado lugar (OMM/PNUMA/IPCC/WGI, 1990).

Cuadro 4

CONTENIDO EQUIVALENTE DE ANHIDRIDO CARBONICO ATMOSFERICO Y DIFERENCIAS DE TEMPERATURA DURANTE ALGUNOS PERIODOS PALEOCLIMATICOS

| Período              | Análogo (año) | Diferencia con la temperatura actual | Concentración de CO <sub>2</sub> en el pasado | Concentración supuesta de CO <sub>2</sub> |
|----------------------|---------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Holoceno óptimo      | 2000          | +1°C                                 | 280 ppm                                       | 380 ppm                                   |
| Eemiano interglaciar | 2025          | +2°C                                 | 280 ppm                                       | 420 ppm                                   |
| Plioceno             | 2050          | +4°C                                 | 500-600 ppm                                   | 560 ppm                                   |

Fuente: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (IPCC), "Policymakers Summary of the Potential Impacts of Climate Change", Informe preparado para el IPCC por el Working Group II, junio de 1990.

#### 4. Pronóstico empírico del clima

Los períodos anteriores de calentamiento se utilizan como un análogo para determinar cómo afectaría los climas regionales un calentamiento futuro debido al efecto invernadero (véase el cuadro 4). La descripción de los climas pasados se obtiene del análisis de datos sobre las condiciones climáticas cambiantes en el período de observaciones meteorológicas instrumentales o de análogos paleoclimáticos. La ventaja de confiar en los análogos radica en que este criterio proporciona un sentido realista de la manera cómo cambian los regímenes meteorológicos regionales y locales a medida que se produce un calentamiento mundial del clima (EPA, 1988a).

Si el efecto invernadero provoca un incremento de la temperatura media de 2°C a 3°C o más en la baja atmósfera con pocos cambios en el trópico pero con variaciones un poco mayores en las latitudes medias y altas, el análogo paleoclimático más próximo de esas condiciones serían las fases más cálidas

los interglaciares no son lo suficientemente detalladas para proporcionar un modelo útil de los cambios climáticos potenciales. La analogía subóptima es el holoceno medio (de 8 000 a 5 000 años atrás). Este período presentaba temperaturas medias de 1.5°C a 2.5°C superiores a las que existen en la actualidad en las regiones de latitudes medias (Butzer, 1980).

Los estudios realizados sobre los climas del holoceno medio llegan a las siguientes conclusiones:

- Los cambios de las temperaturas invernales en las áreas de clima marítimo en las latitudes bajas y medias serían mínimas. El frío invernal menos intenso en las regiones continentales interiores de las latitudes medias y altas. Aumentaría el calentamiento estival en muchas zonas de altas latitudes. Habría áreas de enfriamiento en las regiones continentales de las bajas latitudes (Mitchell y otros, 1990).
- En estudios realizados sobre el clima del período Eemian interglacial, análogo para el año 2025, se indica que las precipitaciones fueron considerablemente mayores que en la actualidad en todas las regiones para las que existen datos. Durante el plioceno, análogo para el año 2050, las precipitaciones aumentaron en todas las áreas terrestres para las que se dispone de información, especialmente en varias áreas que ahora son desiertos (Mitchell y otros, 1990).

Según reconstrucciones paleoclimáticas recientes, el cambio climático podría ser bastante favorable, especialmente para las regiones semiáridas y áridas y para las bajas latitudes del trópico. Los escenarios para estas regiones muestran un aumento insignificante o incluso una invariabilidad de la temperatura del aire seguida de un incremento marcado de las precipitaciones anuales, lo que se traduciría en un aumento considerable de los recursos hídricos totales. Los escenarios paleoclimáticos indican que el escurrimiento fluvial total aumentaría entre 10% y 12% con una elevación de 1°C de la temperatura mundial y entre 16% y 19% con un calentamiento de 2°C, aunque en ciertas regiones se puede producir una disminución de 10% a 15% del escurrimiento anual (Lintz, Shiklomonov y Stakhiv, 1992).

Se sabe poco acerca de las condiciones climáticas predominantes en América Latina y el Caribe durante los calentamientos anteriores. En general, la estructura básica del holoceno medio puede entrañar desviaciones negativas de 20% a 30% del balance hídrico en las áreas de latitudes medias y anomalías positivas de 30% a 50% en áreas de bajas latitudes (véase el gráfico 9). Hay algunos indicios de que las precipitaciones posiblemente se incrementaron en la región tropical de Sudamérica, si bien se vieron interrumpidas por varias temporadas muy secas (Butzer, 1980). Algunos estudios señalan que las estribaciones de los Andes argentinos eran más secas, pero que partes de Chile eran más cálidas durante el holoceno medio.<sup>6</sup> Las actuales zonas áridas subtropicales eran más húmedas durante el holoceno, debido muy probablemente a mayores precipitaciones (IIASA, 1981). Entre 9 000 y 5 000 años atrás, hubo varias épocas calurosas breves acompañadas de mayores precipitaciones y un aumento de los niveles en las regiones subtropicales y latitudes altas, aunque descendió el nivel de algunos lagos situados en latitudes medias (Folland, Karl y Vinnikov, 1990).

##### 5. Los cambios en la utilización de la tierra y sus efectos sobre el clima

Los cambios en la utilización de la tierra pueden afectar el clima de diversas maneras; por ejemplo, los cambios relacionados con los ciclos del carbono y el nitrógeno pueden producir mayores concentraciones de gases termoactivos. Sin embargo, los efectos netos probablemente sean relativamente pequeños, ya que

si se eliminaran todos los bosques tropicales el clima se calentaría sólo 0.3°C (Mitchell y otros, 1990). Los cambios en el albedo de los terrenos despejados pueden llevar a una disminución de las precipitaciones y un aumento de la desertificación; por último, se afecta el ciclo hidrológico y la rugosidad de la superficie (OMM/PNUMA/IPCC/WGI, 1990). Los cambios en la utilización de la tierra que interesan áreas más pequeñas pueden repercutir solamente en el clima local, pero los que afectan grandes extensiones pueden traducirse en variaciones significativas del clima regional, inclusive en áreas lejanas del lugar del cambio.

La deforestación puede tener efectos importantes sobre los microclimas y el ciclo hidrológico, especialmente si la práctica forestal utilizada es la tala casi total. Entre las posibles consecuencias figuran la pérdida de suelos forestales, la disminución de la capacidad del suelo para retener agua, el aumento de la erosión y la mayor vulnerabilidad de las tierras bajas a sufrir inundaciones, cambios en el caudal de los canales, embanque de los embalses y cambios en la formación de los deltas (UNESCO/PHI/MAB, 1990; Hashimoto, Styrikovich y Nishioka, 1990). Esos cambios pueden afectar los sistemas de defensa contra las inundaciones, la generación de energía hidroeléctrica, la pesca en aguas interiores, la navegación interior y otras utilidades del agua. Además, la deforestación generalizada vuelve al parecer más seco el clima de la región circundante; tales efectos pueden haberse producido en la zona vecina al Canal de Panamá y en la región noroccidental de Costa Rica (Myers, 1988). En el recuadro 3 se analizan los efectos de la deforestación en la cuenca del Amazonas.



La deforestación se relaciona íntimamente con la quema de la biomasa, práctica que se ha generalizado en la región, especialmente en el trópico. La quema se hace con varias finalidades, como por ejemplo, transformar el bosque en tierras agrícolas o pastizales, despejar la tierra para la agricultura migratoria, eliminar la vegetación muerta para fomentar la productividad agrícola y el crecimiento de pastos de mayor rendimiento y combatir plagas, insectos y malezas, entre otras cosas. La quema de la biomasa constituye una fuente importante de gases termoactivos y otras condiciones climáticas, incluidas las emisiones de óxido nítrico e hidrocarburos que provocan altas concentraciones de ozono en el trópico durante la estación seca. La quema también libera grandes cantidades de partículas de humo que actúan como núcleos de condensación para las nubes, con efectos para el balance de radiación y el ciclo hidrológico en el trópico y que también pueden favorecer la deposición ácida (Crutzen y Andreae, 1990).

Recuadro 3  
**CAMBIOS EN EL CICLO HIDROLOGICO DEBIDO A LA DEFORESTACION**

Las selvas tropicales juegan un papel sumamente importante en el clima local, regional e inclusive tal vez mundial. Los procesos de evaporación, alimentados por los océanos y mares cercanos, distribuyen la humedad abundante que fluye por todas las áreas de las selvas tropicales a través de la vegetación. En la selva tropical, la mayor parte de la evaporación proviene de los propios árboles y no del suelo, y este proceso es muy intensivo en energía.<sup>a</sup>

El caso que se ha estudiado más de cerca respecto de los efectos de la deforestación sobre este proceso en América Latina y el Caribe es la cuenca del Amazonas, que se estima contiene cerca de la mitad de las selvas tropicales húmedas del mundo.<sup>b</sup>

Las características más importantes del ciclo hidrológico de la cuenca del Amazonas son:<sup>c</sup>

- El flujo primario de vapor de agua del orden de ocho a diez billones de toneladas por año, se origina del Océano Atlántico y es llevado a la región por los vientos alisios que soplan de Este a Oeste.
- Un flujo de vapor de agua de tres a cinco billones de toneladas por año abandona la región del Amazonas hacia otras regiones del mundo y forma parte del proceso de transferencia de energía de la región ecuatorial hacia las latitudes más elevadas.
- El flujo de agua hacia el océano es del orden de 5.5 billones de toneladas por año.
- Las precipitaciones ascienden a 13.8 billones de toneladas por año, mientras que la evapotranspiración equivale a 7.2 billones de toneladas por año.

En diversos estudios se señala que la recirculación considerable del vapor de agua dentro de la cuenca explica este tipo de balance hídrico. En el Amazonas, mucho más que en otras partes, las lluvias provienen del agua reciclada hacia atmósfera mediante la evapotranspiración, y no por haber sido sopladas hacia la región en forma de nubes provenientes del océano.<sup>d</sup>

La evaporación local representa aproximadamente la mitad de las precipitaciones locales, mientras que la humedad de aducción de los océanos vecinos representa el resto.<sup>e</sup> La cubierta vegetal desempeña un papel primordial en este proceso: puede prolongar el tiempo de permanencia del agua, aumentar la captación y regular la transpiración. Las alteraciones de la cubierta vegetal modificarán los componentes del balance hídrico y, por consiguiente, la distribución del coeficiente neto del balance energético. Toda reducción de la evapotranspiración significa una disminución en la proporción del balance de radiación que se convierte en calor latente, y un aumento en la proporción correspondiente al calor sensible, es decir, un incremento de la temperatura.<sup>e</sup>

Además de los cambios locales, que reducirían las precipitaciones y aumentarían la temperatura, habría también una reducción del flujo de vapor de agua hacia las regiones vecinas. La consecuencia inmediata de ello sería una baja del caudal del Amazonas y sus tributarios.<sup>e</sup>

Se han hecho varios intentos, con la ayuda de modelos de circulación general, para pronosticar cambios en el clima regional probable de la cuenca del Amazonas en condiciones de deforestación. En un estudio reciente se utilizó un modelo numérico acoplado de la atmósfera y biosfera globales para evaluar los efectos de la deforestación del Amazonas sobre el clima regional y mundial. Cuando las selvas tropicales del modelo se reemplazaron por pastizales degradados, se produjo un incremento significativo de la temperatura superficial y una disminución de la evapotranspiración y precipitaciones en la cuenca.<sup>f</sup>

Las temperaturas de la superficie y el suelo aumentaron en 1°C a 3°C con la deforestación. La reducción de las precipitaciones y evapotranspiración anuales estimadas fueron en promedio 26% (643 mm) y 30% (496 mm), respectivamente. La reducción simulada de las precipitaciones sobre el Amazonas es mayor que la disminución regional correspondiente de la evapotranspiración, lo que significa una merma en la convergencia dinámica del flujo de humedad como resultado de la deforestación. La simulación también proyectó una prolongación de la estación seca. En el estudio se llegó a la conclusión de que los cambios en el ciclo hidrológico de la región y la desorganización de las complejas relaciones entre plantas y animales podían ser tan profundos que, una vez destruida la selva tropical, quizá no pudieran restablecerse.<sup>f</sup>

En otro experimento reciente se investigó el impacto de transformar la cubierta vegetal en desierto (se utilizaron albedos semejantes a los de las partes más reflectantes del desierto del Sáhara) sobre Sudamérica al norte de los 30° de latitud sur. Las precipitaciones anuales se redujeron en 70% y se varió su distribución estacional asemejándola a la que caracteriza a las regiones semiáridas.<sup>g</sup> Ello indica que la deforestación generalizada de la zona tropical de Sudamérica puede producir una disminución irreversible de las precipitaciones al menos sobre parte de la región.<sup>b</sup>



### Recuadro 3 (Concl.)

la deforestación generalizada de la zona tropical de Sudamérica puede producir una disminución irreversible de las precipitaciones al menos sobre parte de la región.<sup>b</sup>

Los cambios en los componentes del ciclo hidrológico se producen en cuanto se modifica el uso de la tierra, especialmente con la sustitución de los bosques por pastizales o cultivos anuales. Las observaciones señalan que aumenta tanto la pérdida de agua por escurrimiento superficial como en la incidencia de la erosión. Los cambios en las características físicas del suelo (mayor compactación y menor velocidad de infiltración) constituyen un proceso en curso que puede observarse uno o dos años después de que se ha cambiado el uso de la tierra. Ello lleva a una modificación del balance de radiación, de modo que tienen lugar cambios en los microclimas en períodos muy breves, en algunos casos casi simultáneamente con el cambio en la utilización de la tierra.<sup>c</sup>

A nivel regional, los cambios en los microclimas dependerán de la combinación entre el grado de alteración y la escala temporal que abarcan los efectos. Por ejemplo, el período medio de retención del vapor de agua en la cuenca del Amazonas es del orden de tres a cuatro meses y el ciclo hidrológico se repite cada año. Por lo tanto, cabe prever que los efectos regionales podrían manifestarse dentro de pocos años cuando los cambios son sustanciales. Hay indicios, por ejemplo, de que los efectos de la deforestación del tramo superior de los ríos se manifestarían dentro de un solo ciclo hidrológico.<sup>e</sup>

- Fuentes:**
- <sup>a</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura/Programa Hidrológico Internacional/Programa sobre el Hombre y la Biosfera (UNESCO/PHI/MAB), *The Disappearing Tropical Forests. Water-related Issues and Problems of the Humid Tropics and other Warm Humid Regions*, París, mayo de 1991.
  - <sup>b</sup> J.F.B. Mitchell y otros (comps.), "Section 5. Equilibrium climate change and its Implications for the Future. Peer Reviewed Assessment for WG1 Plenary", 28 de abril de 1990.
  - <sup>c</sup> E. Salati (consultor), *Los posibles cambios climáticos en América Latina y el Caribe y sus consecuencias* (LC/L.580(Sem.56/4)), Santiago de Chile, CEPAL, 1990.
  - <sup>d</sup> Philip Fearnside, "Brazil's Amazon settlement schemes: conflicting objectives and human carrying capacity", *Habitat International*, vol. 8, N° 1, 1984, citado en Banco Mundial, *Brazil. An analysis of environmental problems in the Amazon*, Report N° 9104-BR, Washington, D.C., División Central de Operaciones, Departamento Geográfico Brasil, Región de América Latina y el Caribe, 1992.
  - <sup>e</sup> E. Salati, J. Marques y L.C.B. Molion, "Origem e distribuição das chuvas na Amazônia", *Interciencia*, N° 3, citado en J.F.B. Mitchell y otros (comps.) "Section 5. Equilibrium climate change and its implications for the future. Peer reviewed assessment for WG1 Plenary", 28 de abril de 1990.
  - <sup>f</sup> J. Shukla, C. Nobre y P. Sellers, "Amazon deforestation and climate change", *Science*, vol. 247.
  - <sup>g</sup> Lean y Rowntree, *Comunicación personal*, 1989, citado en J.F.B. Mitchell y otros (comps.), "Section 5. Equilibrium climate change and its Implications for the Future. Peer Reviewed Assessment for WG1 Plenary", 28 de abril de 1990.

## 6. El fenómeno El Niño Oscilación Meridional: ¿prefiguración de lo que ha de venir?

Los sucesos relacionados con El Niño figuran entre los casos más espectaculares de variabilidad anual de los océanos y tienen profundas consecuencias para el clima y los ecosistemas oceánicos (Cane, 1983). Los episodios meteorológicos asociados con estos sucesos ofrecen excelentes ejemplos de las posibles consecuencias económicas y sociales del cambio climático para América Latina y el Caribe. Además, el fenómeno El Niño reflejaría las condiciones que derivan de los cambios climáticos regionales proyectados en el futuro, aun cuando este fenómeno nunca dura mucho tiempo (Escobar, 1988).

El fenómeno El Niño suele definirse como la aparición y persistencia de una corriente inusualmente cálida en las aguas costeras y ecuatoriales de Perú y Ecuador durante un período de seis a 18 meses. Sin embargo, esta anomalía constituye sólo una de las múltiples facetas de un fenómeno de gran envergadura que afecta todo el Pacífico tropical y la atmósfera mundial (Barber y Chávez, 1983).

El fenómeno El Niño Oscilación Meridional tiene lugar periódicamente, a intervalos de dos a diez años, pero el intervalo más corriente es de tres años. El fenómeno tiende a comenzar al principio de un año y termina al principio del siguiente. Comienza con una acumulación de agua cálida en la región central u oriental del Pacífico ecuatorial (Glantz, 1990; Sotelo, 1986). La configuración global de anomalías atmosféricas se vuelve más generalizada e intensa hacia el final del primer año y durante los primeros meses del segundo. El fenómeno entra luego en un período de declinación que suele durar varios meses. Los efectos pueden variar a nivel regional y estacional y la amplitud de las anomalías regionales varía de un episodio a otro (Rasmusson, 1987).

Los fenómenos son manifestaciones en la atmósfera y el océano de la misma anomalía climática, que cuando ha alcanzado pleno desarrollo, se presenta en forma de una extensión de agua cálida en todo el océano Pacífico tropical y una inversión de la corriente de gradiente (Delecluse, 1992). En el océano la profundidad del termocline aumenta decenas de metros en el Este, las corrientes se invierten, surgen en la superficie fuertes corrientes que se desplazan hacia el Este y disminuye la corriente subsuperficial en el Ecuador. En la atmósfera, disminuyen los vientos alisios, a menudo hasta el punto que se invierten en la parte occidental de la cuenca. La zona de convección, generalmente sobre las islas de Indonesia, se desplaza hacia el Este. Declinan las precipitaciones en el Pacífico occidental y aumentan en las regiones central y oriental de dicho océano. Las dos zonas en que los vientos superficiales del Pacífico entran en contacto se fusionan y forman una zona única de convección sobre el centro (Delecluse, 1992).

El cambio en la distribución de las aguas cálidas del Pacífico tropical debilita los vientos alisios, lo que resulta en una declinación de la gradiente de temperatura Este-Oeste y la destrucción de la célula de Walker. El desplazamiento de las aguas cálidas hacia el Pacífico medio y la convergencia de los vientos zonales hacia el fenómeno cálido provoca una reversión de los vientos en el Pacífico occidental (Delecluse, 1992).

La aparición de aguas cálidas en las extensiones centrales y orientales del Pacífico parece relacionarse con el debilitamiento de los vientos alisios que, en circunstancias normales, mantendrían una gradiente ascendente de Este a Oeste, pero como dejan de soplar, la gradiente no se conserva y las aguas cálidas pueden fluir en toda la región ecuatorial. La corriente subsuperficial ecuatorial se debilita y los vientos del Oeste generan corrientes superficiales que se desplazan hacia el Este (Delecluse, 1992).

Los mecanismos físicos de la oscilación meridional y El Niño revelan que los estrechos vínculos existentes entre el océano y la atmósfera pueden desestabilizarse fácilmente, pero ninguno puede generar la anomalía de manera independiente (Delecluse, 1992). El componente de oscilación meridional supone principalmente una oscilación de la masa atmosférica entre las regiones cerca de Indonesia y el océano Pacífico sudoriental cerca de la Isla de Pascua, mientras que el componente de El Niño es un calentamiento anómalo de la región oriental del océano Pacífico tropical (Folland, Karl y Vinnikov, 1990). La temperatura anómala de las aguas superficiales desencadena una anomalía en la circulación atmosférica, que ayuda a mantener y amplificar la anomalía oceánica inicial y viceversa. La respuesta no se limita a la zona de la anomalía original debido a que las olas ecuatoriales se esparcen rápidamente a lo largo del ecuador y hacen que los efectos de la irregularidad se perciban en toda la extensión del océano tropical (Delecluse, 1992).

La acumulación de aguas cálidas en las zonas oriental y central del Pacífico ecuatorial aumenta la temperatura del aire, con el consiguiente incremento importante de las precipitaciones en las zonas habitualmente secas y una disminución en las áreas generalmente húmedas. Cuando estos fenómenos son muy intensos, la costa árida de la parte occidental de Sudamérica se ve a menudo afectada por lluvias

torrenciales e inundaciones, en tanto que las áreas normalmente húmedas sufren de sequía (Glantz, 1990). Por ejemplo, la costa septentrional del Perú es árida, pero el fenómeno El Niño Oscilación Meridional produce un incremento espectacular de las precipitaciones anuales (un aumento de 40 a 60 veces en el período 1982-1983) (Mujica, 1984).

Durante el fenómeno El Niño, el Golfo de México es más húmedo que de costumbre. La parte central de Sudamérica, incluidos Argentina y el Brasil meridional, es generalmente más húmeda, pero la región nordoriental de Sudamérica, especialmente el nordeste del Brasil, es muy seca (IPS, 1992). Durante el fenómeno de 1982-1983, las lluvias intensas y persistentes causaron grandes inundaciones en las zonas costeras de Ecuador y Perú septentrional, así como en la parte occidental de Bolivia, mientras que una severa sequía afectó prácticamente todas las tierras altas de Bolivia y Perú (CEPAL, 1984). La sequía afectó también algunas áreas de Argentina, Brasil, Chile, México, Venezuela, la mayor parte de Centroamérica y algunos países del Caribe (Glantz, 1990). Por otra parte, algunos países fueron afectados por lluvias extraordinarias. Por ejemplo, en el Estado de Paraná (Brasil), las fuertes precipitaciones provocaron pérdidas en las cosechas estimadas en casi 800 millones de dólares y arruinaron cerca de 40% de las cosechas en el Estado de Santa Catarina (Vargas y Núñez, 1989).<sup>7</sup> Algunos sectores del litoral del Pacífico de Colombia también fueron afectados por intensas lluvias (Montealegre, 1992).

El fenómeno El Niño influye en la actividad de los huracanes del Caribe (Maul, 1988). Los fenómenos parecen augurar un año apacible para los huracanes del Atlántico y el Caribe debido a que los vientos del Oeste en las capas superiores de la atmósfera impiden la formación de sistemas de vientos huracanados (IPS, 1992). El fenómeno de 1982-1983 favoreció al parecer la formación de huracanes en el Pacífico, con 19 huracanes en 1982 y 25 en 1983 (Montealegre, 1992).

El área marina frente a las costas de Ecuador, Perú y Chile posee normalmente aguas superficiales frías ricas en elementos nutritivos durante los meses de abril a diciembre. Ello se debe a la corriente ascendente ecuatorial y costera y varía considerablemente entre el verano y el invierno (Zuta, 1986). Sin embargo, esta característica normal sufre cambios drásticos durante el fenómeno El Niño. Por ejemplo, en el período 1982-1983, la presencia de enormes masas de agua a lo largo de la costa sudoriental del Pacífico modificó la estructura normal de las aguas del litoral hasta profundidades que superaban los 100 metros y afectó la productividad, distribución y tasa de supervivencia de los peces, con la consiguiente paralización de las industrias pesqueras de Ecuador y Perú (Sotelo, 1986).

Los efectos en otros ecosistemas acuáticos y costeros también pueden ser graves. La disminución de las poblaciones de peces a causa del fenómeno El Niño afecta asimismo la producción de guano (abono natural de importancia para el Perú) y priva de alimento a las aves marinas que los producen (EIU, 1989). La población de aves marinas del Perú disminuyó drásticamente a comienzos de los años setenta, después de la desaparición de las poblaciones de peces (IMARPE, 1983). La población de aves guaneras, que se estimaba en unos 30 millones en 1950, bajó a 6 millones en 1982 y a sólo 300 000 a raíz del fenómeno (Escobar, 1988). Cuando la temperatura aumenta a 30°C, se produce la pérdida y decoloración de los arrecifes coralinos (Escobar, 1988). El fenómeno de 1982-1983 causó la muerte de 95% de los corales que forman los arrecifes en las Galápagos, cerca de las dos terceras partes de los corales en la costa del Pacífico de Panamá y casi la mitad de los corales de la costa del Pacífico de Costa Rica (Birkeland, 1990). Las altas temperaturas y la salinidad sumamente baja también provocaron elevadas tasas de mortalidad en la fauna asociada con los manglares. Sin embargo, la industria pesquera de cangrejos y crustáceos obtuvo mayores rendimientos (Escobar, 1988). No obstante, las fuertes marejadas de 1983 provocaron la destrucción masiva de campos de algas marinas, así como de crustáceos y cangrejos desde Ecuador hasta Chile (Sotelo, 1986).

El fenómeno El Niño Oscilación Meridional es un elemento natural del clima de la Tierra y ha sido documentado en la costa noroccidental de Sudamérica al menos durante 450 años (Folland, 1990). Una de las preocupaciones principales consiste en saber si su intensidad y frecuencia pudieran cambiar como resultado del calentamiento mundial de la atmósfera. Muchos estudios señalan que la frecuencia e intensidad del fenómeno no han variado desde la "pequeña" época glacial (1500 a 1850) (Tsyban, 1990). Ello haría suponer que la frecuencia e intensidad del fenómeno El Niño continuarán en los próximos 100 años independientemente de las tendencias del calentamiento de la atmósfera (Enfield, 1988). Los cambios provocados por el calentamiento debido al efecto invernadero en la circulación atmosférica pueden modificar, sin embargo, los efectos del fenómeno El Niño Oscilación Meridional al variar las conexiones entre las latitudes bajas y medias (Nicholls, 1991).

Hay indicios de que el fenómeno El Niño puede detener temporalmente el aumento de la concentración de anhídrido carbónico atmosférico. El fenómeno causa al parecer que los océanos absorban de la atmósfera una cantidad adicional de anhídrido carbónico en las latitudes elevadas e interrumpe, pero en menor grado, la corriente ascendente de aguas profundas frías ricas en anhídrido carbónico en la región ecuatorial del Pacífico oriental que normalmente transporta anhídrido carbónico a la superficie del mar y luego a la atmósfera (Böhme, 1990). Otra posibilidad es que esto sea provocado por los procesos en la biosfera terrestre, quizá en respuesta a los fenómenos climáticos asociados con el fenómeno El Niño Oscilación Meridional (Watson, 1990).

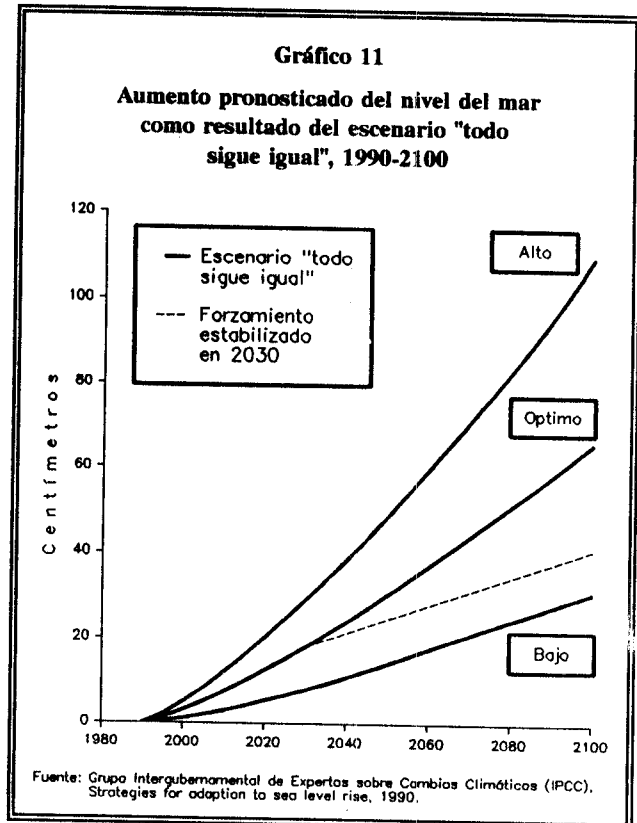
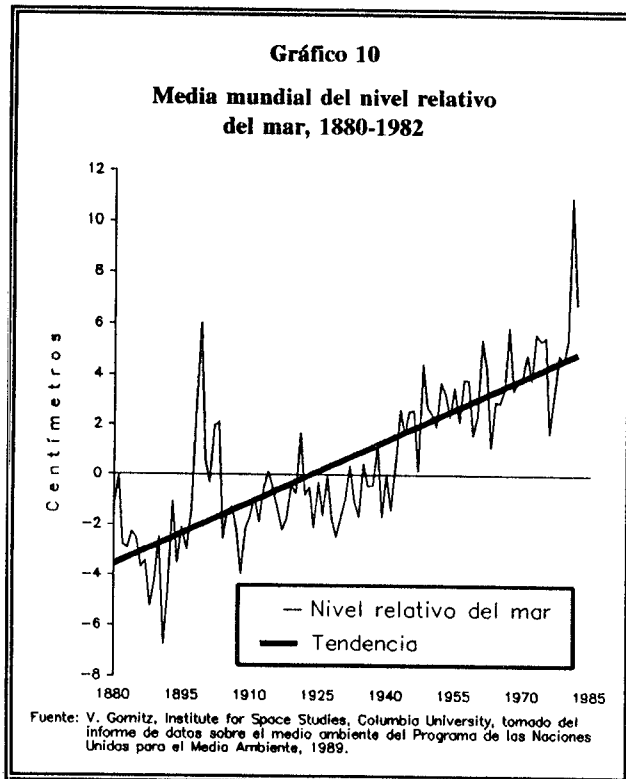
## B. AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR

El calentamiento de la Tierra aumentaría el volumen de los océanos como resultado de la expansión térmica, ya que la densidad del agua varía con los cambios de temperatura, y del deshielo de los glaciares y posiblemente de la capa de hielo polar en Groenlandia y la Antártida (véanse los cuadros 1 y 3). La variación del volumen de agua en los océanos a causa de los cambios en las precipitaciones y el escurrimiento pueden también afectar el nivel de los mares. Se estima que el nivel mundial de los mares aumenta actualmente a razón de 12 cm por siglo (véase el gráfico 10) (EPA, 1989). Sin embargo, hay dudas (hasta qué punto) o si ello se deba al calentamiento debido al efecto invernadero.

Las proyecciones basadas en modelos combinados de la circulación oceánica y atmosférica global indican que probablemente sería preciso que transcurrieran varios siglos antes de que el calentamiento de la Tierra provocara el derretimiento de la capa de hielo. Los efectos principales de un calentamiento de la atmósfera sobre el nivel del mar, hasta el año 2100, provendrían de la expansión térmica. Las estimaciones de la expansión térmica de los océanos como resultado del calentamiento debido al efecto invernadero oscilan entre 10 y 50 cm, para los modelos que suponen que parte de la difusión térmica descendente se equilibra con las corrientes ascendentes de la profundidad de los océanos; y entre 20 y 110 cm para los modelos que suponen que el calor se difunde hacia abajo por efecto de la difusión turbulenta. Ambas estimaciones corresponden al año 2100 y a un equivalente de duplicar la concentración atmosférica de anhídrido carbónico de la época preindustrial (Policy Implications of Greenhouse Warming-Synthesis Panel, 1991).

El escenario de emisiones "todo sigue igual" del IPCC pronostica que la tasa promedio de elevación media mundial del nivel del mar será de aproximadamente 6 cm (con un rango de incertidumbre de 3 a 10 cm) por decenio en el próximo siglo (OMM/PNUMA/IPCC/WHI, 1990). La elevación pronosticada sería de 18 cm para el año 2030, 44 cm en 2070 y 66 cm a finales del próximo siglo (véase el gráfico 11)

(IPCC/WGIII, 1990). Persiste gran incertidumbre respecto de la magnitud de la elevación del nivel del mar. La elevación prevista podría ser mucho mayor, más rápida y por consiguiente más catastrófica, especialmente si no se produce una disminución o estabilización urgente y drástica de los niveles de emisión de gases termoactivos. Existe cierto temor de que el aumento del nivel del mar pueda ser mayor si, como consecuencia del calentamiento de la Tierra, grandes trozos de hielo polar se deslizaran hacia el mar (Simonis y von Weizsäcker, 1990). Según algunas evaluaciones recientes, la elevación potencial del nivel a muy largo plazo sería al menos de 4 metros. Con una elevación de 10°C en la temperatura, el derretimiento del hielo de la Antártida (90% del hielo de la Tierra) contribuiría considerablemente a aumentar el nivel del mar (Cline, 1991). Durante el último período interglaciar, hace 100 000 años, cuando las temperaturas eran solamente 1°C más cálidas, el nivel del mar era aproximadamente 6 metros más alto (Titus y otros, 1992).



Sin embargo, existen argumentos que avalan un aumento del nivel mar menor que el que se proyecta actualmente, al menos a corto y mediano plazo en algunas áreas (OCDE/IEA, 1990). En Jamaica, por ejemplo, durante el holoceno, la elevación máxima del nivel del mar fue de sólo 0.27 cm al año, es decir menos de la mitad de los 0.6 cm supuestos por el IPCC (Hendry, 1992). En la región del Gran Caribe, el aumento del nivel del mar ha sido en promedio 0.36 cm por año en los 30 últimos años (PNUMA, 1989c). Según el nuevo modelo del clima del Instituto Max Planck, el nivel mundial de los mares se elevaría sólo entre 6 y 16 cm para el año 2085.

Aparte la incertidumbre que rodea las proyecciones del incremento mundial del nivel del mar, subsisten aún mayores dudas acerca de los cambios regionales. Lo que está claro es que habrá variaciones regionales importantes. Los modelos dinámicos de los océanos indican una duplicación o reducción a la mitad de cualquier elevación (Nilsson, 1992).

El incremento del nivel del mar y las modificaciones climáticas provocadas por los cambios de régimen de las olas, vientos y mareas son inseparables, ya que la inundación de las zonas costeras y otros efectos de la elevación del nivel del mar acusan la influencia de una combinación de todos estos factores. Sin embargo, es importante observar que las alteraciones de la temperatura, los vientos y las mareas pueden provocar cambios en la configuración de las corrientes oceánicas. Estas, a su vez, podrían modificar significativamente el nivel de los mares locales. Ejemplo de ello es el Golfo de México, donde la estructura de las corrientes provocan gradiente acentuada de los niveles medios del agua que puede cambiar de manera impresionante si variara la configuración actual de las corrientes oceánicas (Rijsberman, 1991).

Como resultado de diferencias en la elevación del terreno y los procesos geológicos, como un levantamiento o hundimiento tectónico en el litoral, el nivel real del mar es más alto en unas regiones que en otras. Por ejemplo, la elevación del nivel del mar puede afectar ciertas partes del Caribe más que otras debido al hundimiento del terreno (PNUMA, 1989c). En áreas que experimentan un levantamiento natural eustático provocado por movimientos de la placa tectónica, rebote glacial o vulcanismo, probablemente se produciría un pequeño incremento del nivel del mar, en contraste con áreas terrestres que se asientan naturalmente (OMM/PNUMA/IPCC, 1990). En muchas partes de América Latina hay tendencia a que se produzca un levantamiento, aunque otros sectores del litoral tienen tendencia a hundirse (PNUMA/CPPS, 1991).

En algunas áreas la elevación del nivel del mar puede ser considerablemente mayor o menor como resultado de la intervención humana. Entre las posibles causas antropogénicas de hundimiento figuran la explotación excesiva del acuífero subterráneo, la extracción de petróleo y gas y la limitación de la afluencia de sedimentos como resultado de la regulación de las corrientes fluviales. En el Caribe, en algunas áreas de extracción importante de petróleo o agua subterránea, el nivel relativo del mar aumenta en 10 a 15 cm por decenio, en comparación con los 2 o 3 cm estimados de elevación por decenio debido a los cambios climáticos (Maul, 1988).

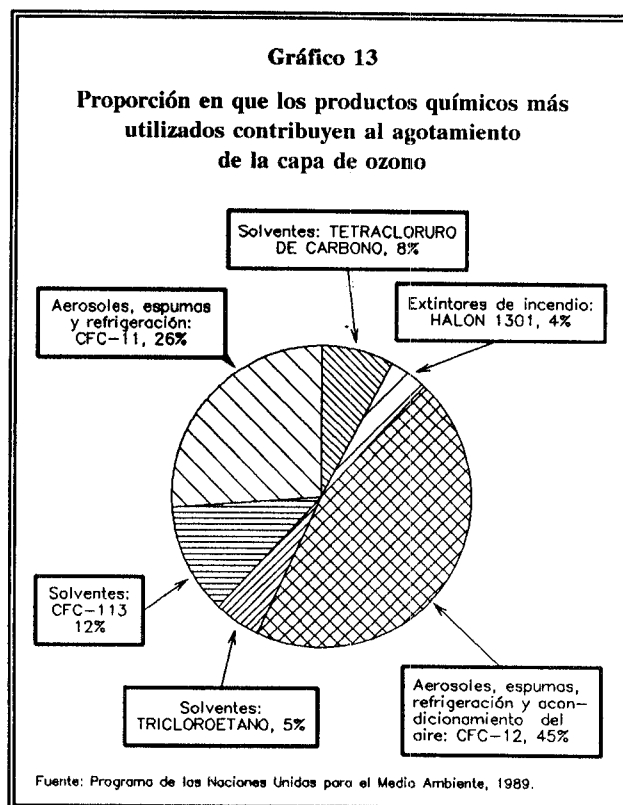
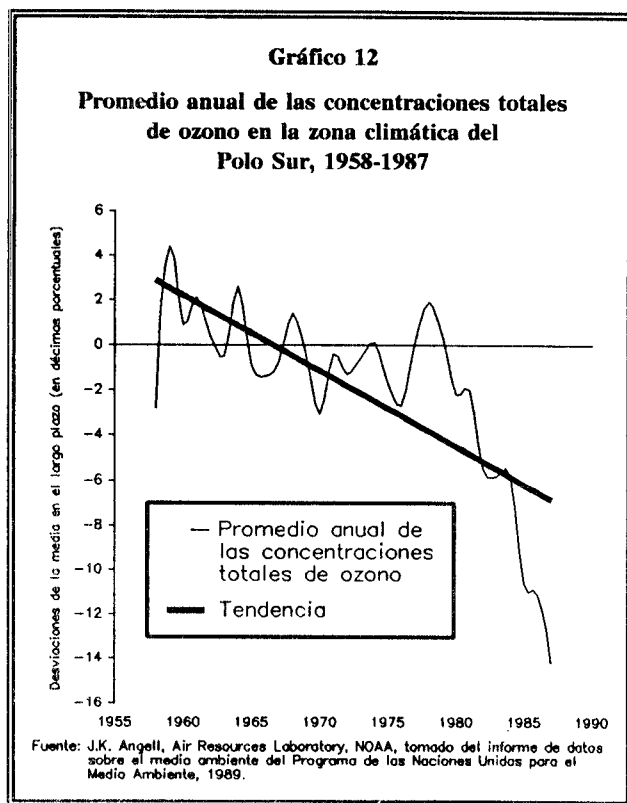
### C. AGOTAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO ESTRATOSFERICO

El tema del agotamiento del ozono estratosférico sólo atrajo la atención del público a raíz del descubrimiento en 1985, por científicos de la British Antarctic Survey, de que el volumen de ozono sobre Halley Bay había disminuido abruptamente desde comienzo de los años setenta (PNUMA, 1989a). Entre 1957 y los primeros años del decenio de 1970, las concentraciones de ozono en octubre se mantuvieron aproximadamente constantes, pero desde octubre de 1979 el adelgazamiento de la capa de ozono se ha agudizado progresivamente (véase el gráfico 12) (Rosenberg, 1986).

Las concentraciones de ozono ( $O_3$ ) en la atmósfera son muy bajas y rara vez sobrepasan  $5 \times 10^{12}$  moléculas por centímetro cúbico y la mayor parte (cerca de 90%) se halla en la estratosfera, donde las concentraciones máximas se presentan a una altura cercana a 25 km sobre el ecuador, que disminuye gradualmente hasta 16 km sobre los polos (Cariolle, 1992). No obstante estas bajas concentraciones, el ozono desempeña una función muy importante en la determinación de la radiación total resultante del planeta. El ozono absorbe muy bien la radiación ultravioleta. Una disminución de 1% del ozono se traduciría en un aumento de 10% de la radiación en la superficie de la Tierra (Döös, 1991).

La absorción de la radiación ultravioleta por el ozono es una fuente importante de calor para la estratosfera que provoca la inversión de la temperatura atmosférica a alturas de 15 a 50 km (PNUMA, 1989a). La capa de ozono estratosférico también contribuye a regular la temperatura terrestre (Simonis y von Weizsäcker, 1990). Cualquier cambio en la capa de ozono repercutirá en el clima. Concretamente, la disminución del ozono estratosférico provocaría el enfriamiento de la superficie de la Tierra y contrarrestaría un poco, por lo tanto, el calentamiento debido al efecto invernadero (OMM/PNUMA/IPCC/WGI, 1990).

El ozono se halla en estado de equilibrio en la estratosfera. Una compensación entre las reacciones químicas que generan y destruyen el ozono preserva este equilibrio. El ozono se forma en la estratosfera como resultado de la fotodegradación del oxígeno molecular por obra de la radiación ultravioleta de onda corta, pero esta radiación descompone asimismo las moléculas de ozono para mantener el equilibrio en la estratosfera.



La presencia cada vez mayor de radicales hidroxilicos, nitrogenados y clorados en la estratosfera, que aceleran el proceso de destrucción del ozono, perturba el equilibrio de éste. Las fuentes naturales de radicales de hidroxilico y nitrogenado son la oxidación del vapor de agua y el óxido nitroso generados en la desnitrificación del suelo. La descomposición natural del cloruro de metilo y la fotodisociación de los clorofluorocarbonos (CFC) que son actualmente la fuente principal, produce átomos de cloro (véase el gráfico 13) (Cariolle, 1992). Estas sustancias químicas actúan como catalizadores y pueden intervenir

en muchas reacciones que destruyen el ozono antes de ser eliminados de la estratosfera. La química de la destrucción del ozono es muy compleja; se han identificado aproximadamente 200 reacciones químicas en que participan los CFC (PNUMA, 1989b).

Como consecuencia de las actividades humanas, ya existen suficientes sustancias que destruyen el ozono en la atmósfera como para provocar mayor agotamiento del ozono estratosférico. Si se eliminaran todos los CFC y otras fuentes productoras de cloro, los niveles de cloro seguirían aumentando durante otros 20 o 30 años (Horgan, 1992).<sup>8</sup> Los niveles atmosféricos de los CFC pueden incrementarse hasta alrededor del año 2000 para volver luego aproximadamente en 2050 a los niveles de los últimos años del decenio de 1970. Ello implica que la capa de ozono seguirá deteriorándose al menos durante diez años antes de que se produzca una lenta recuperación (Banco Mundial, 1992a). Las últimas evaluaciones indican que el agujero de ozono de la Antártida reaparecerá cada primavera y que, además, proseguirá el agotamiento del ozono estratosférico en las latitudes medias y altas durante todo el decenio de 1990 (OMM/PNUMA/IPCC, 1992).

Los registros del satélite Nimbus 7 han revelado un descenso más acentuado de la capa de ozono en el hemisferio austral. Los registros muestran asimismo que la disminución acusa grandes variaciones estacionales y que durante la primavera austral aparece un agujero sobre la Antártida (Cariolle, 1992). Las condiciones meteorológicas únicas de la Antártida contribuyen a la formación del agujero de ozono. Proporcionan condiciones ideales para la destrucción del ozono al crear una masa aislada de aire sumamente frío alrededor del Polo Sur. Las reacciones químicas en la superficie de los cristales de hielo que conforman las nubes estratosféricas polares juegan un papel decisivo en su generación (PNUMA, 1989b).

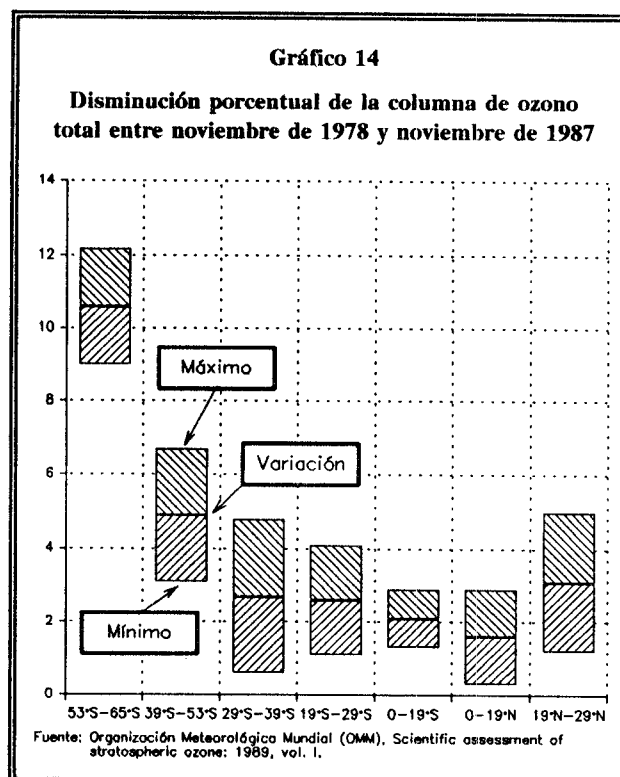
En los 20 últimos años se han presentado disminuciones significativas, mayores en los años ochenta que en los setenta, de la columna de ozono total (durante la primavera, el verano y el invierno) en todas las latitudes, salvo en el trópico (OMM/PNUMA/IPCC, 1992). Es posible que el agotamiento del ozono haya comenzado incluso en el trópico: el sondeador de microondas del limbo a bordo del satélite de investigación de las capas superiores de la atmósfera, lanzado recientemente por la NASA, ha detectado niveles de ozono en el trópico 10% inferiores a los medidos anteriormente (Horgan, 1992).<sup>9</sup> El mayor agotamiento del ozono, cerca de 50% comparado con niveles anteriores, se detectó sobre la Antártida. La disminución es mucho menos (5% a 10% durante el pasado decenio) en las latitudes medias y altas de ambos hemisferios, aunque cabe prever una "dilución" adicional (Banco Mundial, 1992a).

Es probable que la capa de ozono se adelgace más aún a alturas mayores de 25 km, mientras que las concentraciones de ozono podrían incluso aumentar entre aproximadamente 20 km y el nivel del suelo. Es probable que esta grosera distorsión de los estratos de la capa de ozono tenga efectos desconocidos, aunque considerables, sobre el clima de la Tierra (PNUMA, 1989b). Hay indicios de que la reducción del ozono observada en los años ochenta ha causado una disminución del forzamiento radiativo de los sistemas superficie-troposfera en las latitudes medias y altas. Esta reducción del forzamiento radiativo provocada por el agotamiento del ozono, promediada a escala mundial durante el último decenio, podría ser aproximadamente igual en magnitud y de signo opuesto al aumento del forzamiento radiativo debido al aumento de los CFC (OMM/PNUMA/IPCC, 1992). Esto significaría que si se logran mayores progresos en controlar el agotamiento del ozono estratosférico, podría materializarse el calentamiento de la Tierra que se ha venido acumulando.



Los países de América Latina y el Caribe contribuyen relativamente poco a la destrucción de la capa de ozono, pues representan solamente un 3% de la utilización mundial de CFC (Oxman, 1991). Sin embargo, la región probablemente figurará entre las primeras áreas que acusen las consecuencias de la destrucción. Las consecuencias más graves se producirán probablemente en las regiones tropical y subtropical, donde la intensidad de la radiación ultravioleta ya es elevada debido al gran ángulo del sol. Los países del Cono Sur también son vulnerables al agotamiento de la capa de ozono (véase el gráfico 14). Puesto que el agujero de ozono de la Antártida no puede profundizarse mucho más, existe el temor de que pueda agrandarse y abarcar grandes regiones de Argentina y Chile y se extienda sobre partes del Brasil y Uruguay (Shea, 1988).

Otra fuente de preocupación es la ruptura estacional del vórtice polar, masa de aire que rota rápidamente forzada por los sistemas meteorológicos circundantes (Booth, 1989a). El vórtice se forma sobre la Antártida durante la noche polar. Las masas de aire que lo forman son muy frías y se mantienen relativamente aisladas de las latitudes medias. A comienzos de septiembre, la cantidad de ozono comienza a declinar rápidamente dentro del vórtice, hasta 50% a 60% hacia finales de octubre. Ello ha ocurrido casi todos los años desde 1980 (Cariolle, 1992). Cuando el vórtice se rompe durante la primavera antártica, envía corrientes masivas de aire de gran altura y de escaso contenido de ozono hacia otras partes del planeta, incluido el extremo meridional de Sudamérica (Booth, 1989b).



## Capítulo II

### CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMATICO MUNDIAL PARA LA GESTION DEL AGUA

#### A. CALENTAMIENTO DE LA ATMOSFERA POR EL EFECTO INVERNADERO

El cambio climático es potencialmente uno de los problemas más difíciles que enfrentan los administradores de los recursos hídricos en América Latina y el Caribe. Una variación del clima afectaría prácticamente todos los aspectos de la utilización del agua en la región (véase el gráfico 15).

Entre las características más importantes de los efectos potenciales del cambio climático para el aprovechamiento de los recursos hídricos figuran:

- Los efectos universales positivos o negativos del cambio climático que experimentarían todos los usos del agua, pero con distinta repercusión geográfica.
- La lentitud con que se producirá cualquier cambio.
- La incertidumbre en todos los aspectos de la relación entre cambio climático y ordenación del agua.
- La severidad potencial de las consecuencias económicas y sociales.

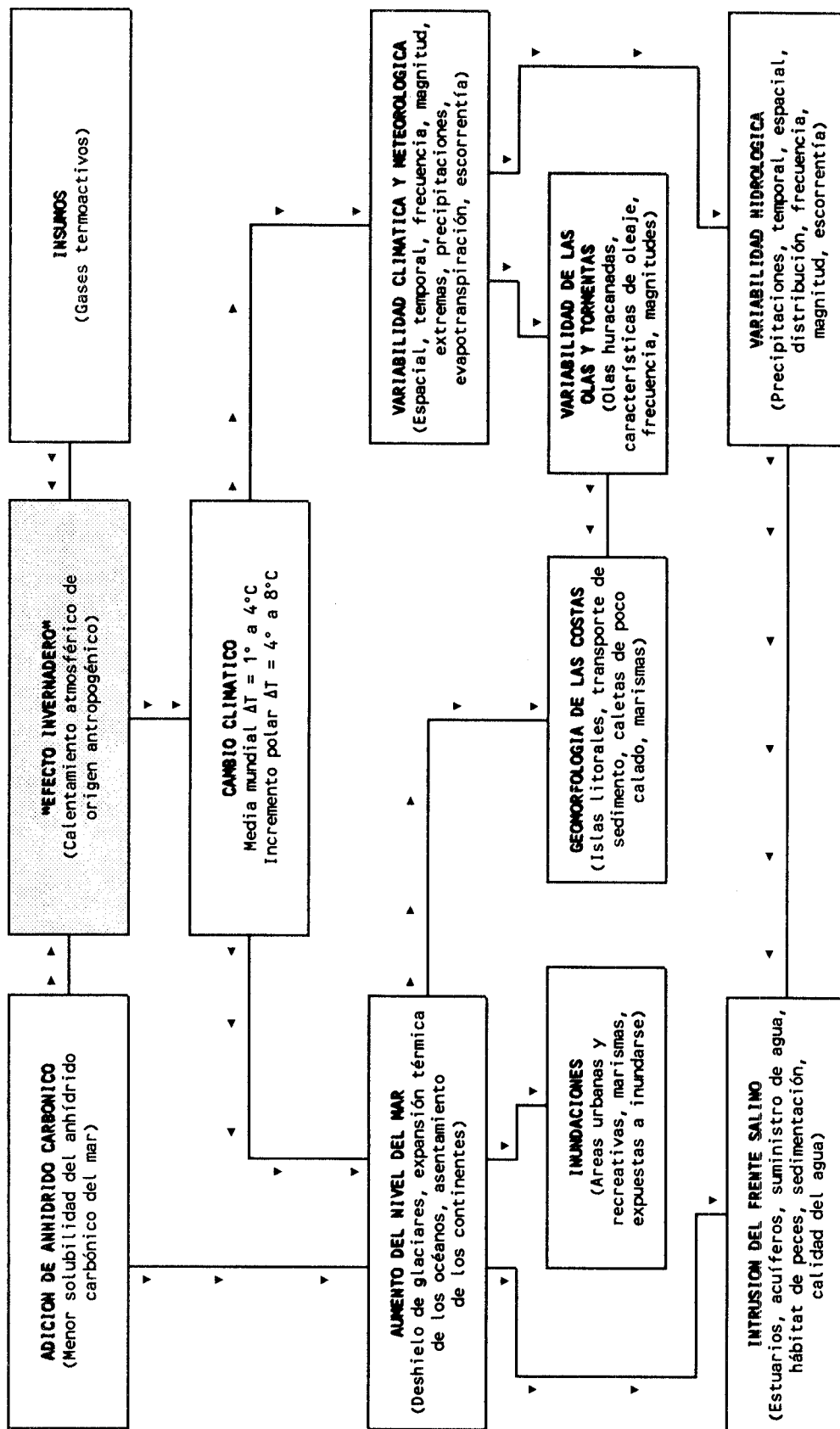
#### 1. Sensibilidad de los sistemas hídricos a las variaciones del clima

Toda variación climática afecta profundamente la distribución temporal y espacial de la temperatura, las precipitaciones, la evapotranspiración, la nubosidad, la tempestuosidad, las corrientes de aire y los vientos. En 1990, la Segunda Conferencia Mundial sobre el Clima señaló que entre las repercusiones más importantes de los cambios climáticos figuran sus efectos sobre el ciclo hidrológico y los sistemas de ordenación de los recursos hídricos, y a través de éstos, sobre los sistemas socioeconómicos (Somlyódy, 1991).

El cambio climático a nivel mundial representaría una amenaza aun mayor para la ordenación del agua que cualquier otra actividad humana por muchas razones. Prácticamente todas las actividades relacionadas con el agua dependen de manera decisiva de su disponibilidad espacial y temporal y pueden verse afectadas por fenómenos meteorológicos extremos (véase el cuadro 5). Por consiguiente, es indudable que el cambio climático influirá notoriamente en el ciclo hidrológico general a causa de las

Gráfico 15

Consecuencias físicas del cambio climático



Fuente: D. Moser y E. Stakhiv, "Risk-cost evaluation of coastal protection projects with sea-level rise and climate change", Risk analysis and management of natural and man-made hazards, Y.Y. Harris y E. Stakhiv (comps.), Nueva York, 1989.

Cuadro 5

**SENSIBILIDAD Y ADAPTABILIDAD ESTIMADAS DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS  
Y DE LA NATURALEZA AL CAMBIO CLIMATICO**

|                                      | Sensibilidad |                             |                    |
|--------------------------------------|--------------|-----------------------------|--------------------|
|                                      | Baja         | Adaptación con cierto costo | Adaptación difícil |
| Industria y energía                  | ★            |                             |                    |
| Salud                                | ★            |                             |                    |
| Agricultura                          |              | ★                           |                    |
| Selvas y praderas controladas        |              | ★                           |                    |
| Recursos hídricos                    |              | ★                           |                    |
| Turismo y recreación                 |              | ★                           |                    |
| Asentamientos y estructuras costeras |              | ★                           |                    |
| Migración humana                     |              | ★                           |                    |
| Tranquilidad política                |              | ★                           |                    |
| Paisajes naturales                   |              |                             | ★                  |
| Ecosistemas marinos                  |              |                             | ★                  |

*Fuente:* Capítulo 5 del informe del Grupo de Adaptación, citado en Policy Implications of Greenhouse Warming-Synthesis Panel, *Policy Implications of Greenhouse Warming*, Washington, D.C., National Academy Press, 1991.

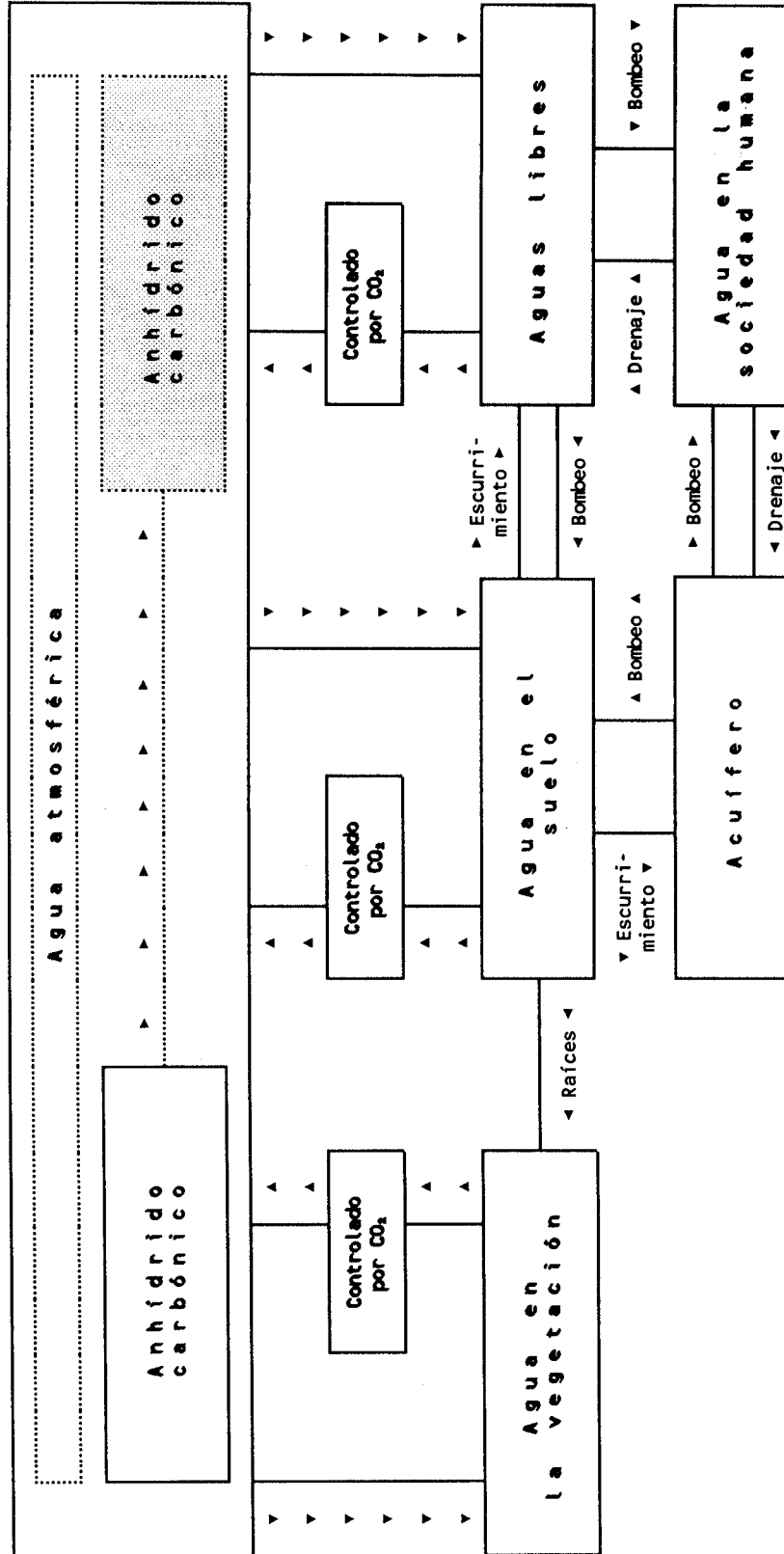
alteraciones previstas en el régimen global de temperaturas y precipitaciones y en la intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos como los ciclones, las inundaciones y las sequías en las zonas tropicales (véanse los gráficos 16 y 17).

Además, la estructura y la técnica de la ordenación del agua y los procedimientos de operación y mantenimiento se elaboran con base en los regímenes climáticos e hidrológicos locales previos. Cualquier variación importante de las condiciones climáticas y los regímenes hidrológicos podría tener graves consecuencias, independientemente de que el efecto del cambio climático sea adverso o beneficioso. Por último, aunque reina la incertidumbre acerca de la configuración regional de los cambios hidrometeorológicos provocados por el calentamiento de la Tierra debido al efecto invernadero, parece que en muchas áreas aumentarían las precipitaciones, la humedad del suelo y el agua almacenada, pero el agua disponible podría disminuir en otros lugares.

La vulnerabilidad de los sistemas de control del agua a la variabilidad del clima puede darse con arreglo a tres categorías generales (véanse los cuadros 6 y 7) (Gleick, 1990).

- **Vulnerabilidades meteorológicas y climatológicas.** Las normas técnicas y de funcionamiento de los sistemas hidráulicos se basan en la magnitud y frecuencia previstas de los fenómenos meteorológicos extremos. Aun las estructuras concebidas para ser flexibles y sólidas son vulnerables a dichos fenómenos. Su vulnerabilidad es máxima frente a la periodicidad y magnitud de las tormentas y la duración y magnitud de las sequías.
- **Vulnerabilidades hidrológicas sistémicas y técnicas.** Las estructuras hidráulicas, como los acueductos, bombas o embalses, han sido diseñadas para manejar volúmenes fijos. Estos pueden resultar inadecuados, ya sea muy pequeños o demasiado grandes, si cambian las condiciones hidrológicas. Las estructuras hidráulicas, naturalmente, fallan asimismo debido a defectos de diseño o construcción y debido a una operación y mantenimiento incorrectos, así como por envejecimiento, fatiga, etc. Todo cambio en las condiciones hidrológicas básicas agravará esos problemas. Los procedimientos utilizados para la operación y el mantenimiento de los sistemas dependen específicamente del clima y, por lo tanto, limitan la flexibilidad de respuesta a los cambios si se dan fenómenos meteorológicos extremos. Por último, el marco jurídico e institucional en que se diseñan dichas estructuras puede restringir la flexibilidad de respuesta de los sistemas a las variaciones del clima. Entre los ejemplos figuran la creación de obstáculos a las modificaciones en la utilización del agua o a su transferencia entre usuarios. Las áreas que ya tienen todos sus recursos hídricos adjudicados corren especial peligro.
- **Vulnerabilidades geográficas y societales.** Las características geográficas y societales de una región pueden hacerla más o menos vulnerable a los cambios en las modalidades de suministro de agua. Entre los factores importantes de riesgo figuran la escasez del agua, el grado de contaminación, el grado de utilización de las aguas subterráneas, la urbanización extensa de llanuras inundables, el grado de dependencia de la agricultura y la proporción de energía que se obtiene de la hidroelectricidad.

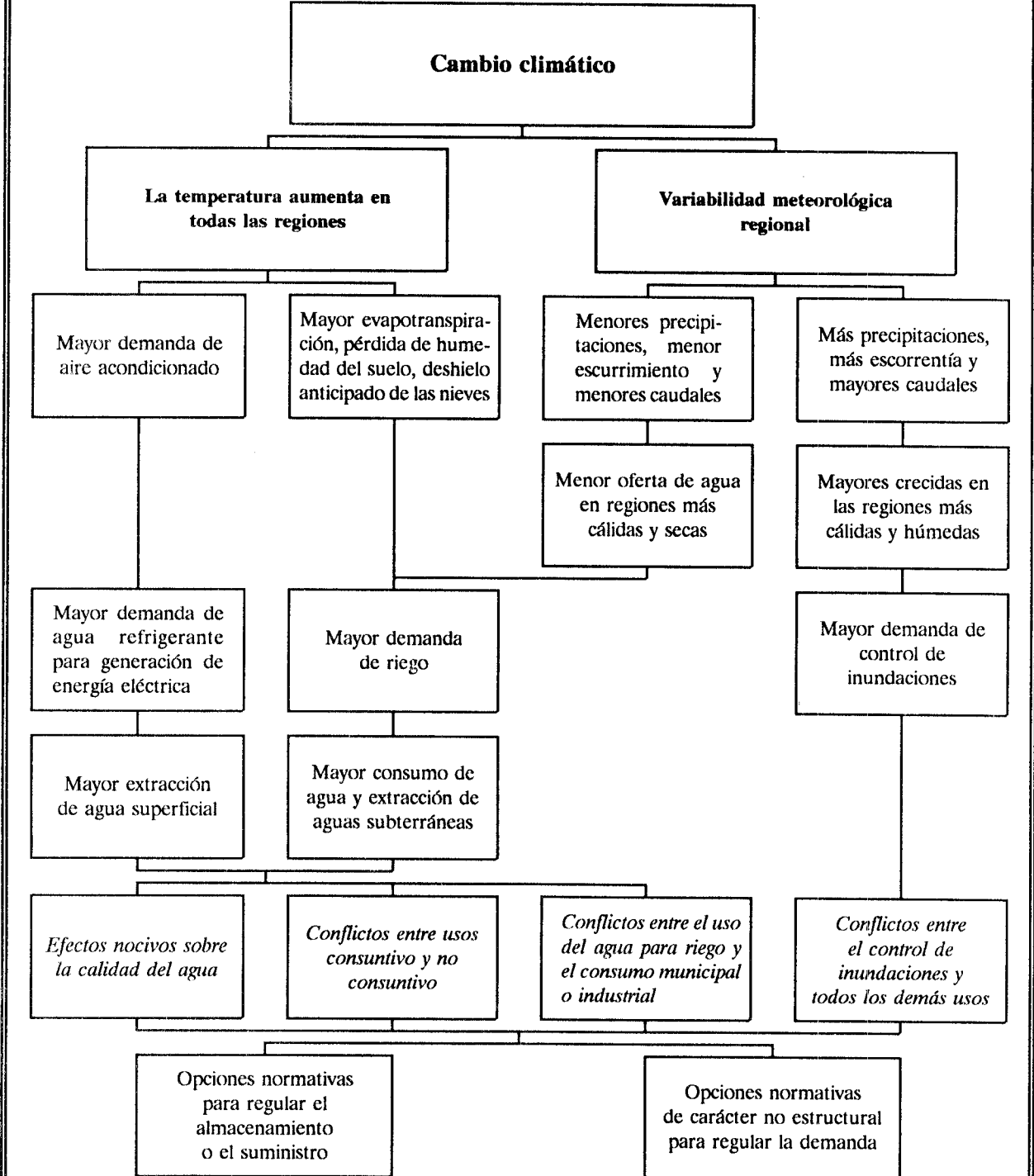
Gráfico 16  
Ciclo hidrológico y cambio climático



Fuente: Adaptado de Paul E. Waggoner y Roger R. Revelle, "Summary", Paul E. Waggoner (comp.), Climate Change and U.S. water resources, informe de la American Association for the Advancement of Science Panel on Climate Variability, Climate Change and the Planning and Management of U.S. Water Resources, 1990, John Wiley & Sons.

Gráfico 17

Efectos del cambio climático sobre la oferta y la demanda de agua



Fuente: United States Environmental Protection Agency (EPA), *The potential effects of global climate change on the United States. Draft. Report to Congress. Volume 2: national studies*, Joel B. Smith y Dennis A. Tirpak (eds.), 1988.

Cuadro 6

**VULNERABILIDAD Y SENSIBILIDAD DE LA ORDENACION DE LOS RECURSOS HIDRICOS  
A LAS FLUCTUACIONES CLIMATICAS**

| <b>Vulnerabilidad a la variabilidad climática <sup>a</sup></b> |                                                                              |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Vulnerabilidad</b>                                          | <b>Variables importantes</b>                                                 |
| <b>Vulnerabilidades meteorológicas y climatológicas</b>        |                                                                              |
| ● Periodicidad                                                 | Flujo anual, estacional, diario                                              |
| ● Cantidad                                                     | Flujo absoluto y estacional                                                  |
| <b>Vulnerabilidades del sistema y el diseño hidrológico</b>    |                                                                              |
| ● Físicas                                                      | Volumen de almacenamiento, caudal máximo, tasa máxima de descarga            |
| ● Operacionales                                                | Secuencia de las corrientes, cronograma de la demanda                        |
| ● Jurídicas o institucionales                                  | Distribución de derechos sobre el agua y opciones para transferencia         |
| ● Económicas                                                   | Fijación del precio del agua, costo de almacenamiento o entrega              |
| <b>Vulnerabilidades geográficas y societales</b>               |                                                                              |
| ● Demanda elevada                                              | Nivel y periodicidad de la demanda                                           |
| ● Propensión a las inundaciones                                | Flujo máximo, volumen de almacenamiento máximo                               |
| ● Calidad del agua                                             | Flujos mínimos, modalidades de uso                                           |
| ● Agricultura de secano                                        | Secuencia de las lluvias, tasas de evapotranspiración                        |
| ● Hidroelectricidad                                            | Estacionalidad de las corrientes, volumen de almacenamiento de los depósitos |



Cuadro 6 (concl.)

| Sensibilidad de la ordenación de los recursos hídricos a las fluctuaciones climáticas <sup>b</sup> |                                         |       |            |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------|------------|---------|
| Métodos y técnicas de gestión                                                                      | Sensibilidad a los fenómenos climáticos |       |            |         |
|                                                                                                    | Dentro del año                          | Anual | Multianual | Secular |
| Protección contra las inundaciones                                                                 | ★                                       | ★     |            |         |
| Regulación fluvial                                                                                 |                                         | ★     | ★          |         |
| Drenaje                                                                                            |                                         | ★     | ★          | ★       |
| Ordenación de la calidad del agua                                                                  | ★                                       | ★     | ★          | ★       |
| Renovación de aguas residuales                                                                     |                                         | ★     | ★          |         |
| Abastecimiento de agua                                                                             |                                         | ★     | ★          | ★       |
| Canalización de ríos (diques)                                                                      |                                         | ★     | ★          |         |
| Embalses para almacenamiento                                                                       |                                         | ★     | ★          | ★       |
| Utilización de aguas subterráneas                                                                  |                                         | ★     | ★          | ★       |
| Transferencia de agua                                                                              |                                         | ★     | ★          | ★       |
| Ordenación de la humedad del suelo                                                                 | ★                                       |       |            |         |
| Control de erosión                                                                                 | ★                                       |       |            |         |

Fuentes: <sup>a</sup> P.H. Gleick, "Vulnerability of water systems", *Climate Change and U.S. Water Resources*, E. Waggoner (comp.), Nueva York, John Wiley & Sons, 1990.

<sup>b</sup> B. Novaky y otros, "Water resources", *Climate Impact Assessment*, R. Kates, J. Ausubel y M. Berberian (comps.), Chichester, Reino Unido, John Wiley & Sons, 1985, citado en William E. Riebsame, *Assessing the Social Implications of Climate Fluctuations. A Guide to Climate Impact Studies*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Programa mundial de estudios del impacto del clima, 1989.

Cuadro 7

## MATRIZ ESPECULATIVA DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMATICO

| Atributos de los sistemas de abastecimiento de agua | Parámetros de los caudales                                                                                                 |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                    |                                                                                                                            |                                                                                                    | Velocidad del cambio                                                                               |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                     | Disminución del caudal medio                                                                                               | Aumento de la varianza del caudal                                                                                                                          | Aumento de las extremas del caudal                                                                                                                                 | Aumento de la persistencia del caudal                                                                                      | No se aplica                                                                                       |                                                                                                    |
| Aporte de corrientes no reguladas                   | Algunos efectos, probablemente no muy grandes, a menos que el cambio en la media sea grande o se combine con otros cambios | Graves efectos en el corto plazo                                                                                                                           | Efectos importantes ya que la duración de los caudales bajos aumenta en relación con los períodos de caudales muy elevados                                         | Efectos importantes, derivados más a duración de los caudales que de su intensidad                                         | No se aplica                                                                                       | No se aplica                                                                                       |
| Aporte de los embalses                              | Efectos importantes a graves, en especial si los embalses suministran un alto porcentaje del caudal medio                  | Efectos medianos a nulos dependiendo del tamaño de los embalses en relación con la cuenca de captación; los depósitos más grandes resultan menos afectados | Efectos medianos a inexistentes dependiendo del tamaño de los depósitos en relación con la cuenca de captación; los depósitos más grandes resultan menos afectados | Efectos importantes a severos, en especial si la capacidad de almacenamiento de los embalses en el largo plazo es limitada | No se aplica                                                                                       | No se aplica                                                                                       |
| Aporte de las aguas subterráneas                    | Importantes a largo plazo, en especial si la extracción del acuífero se aproxima a la alimentación media                   | Poca importancia, si la hay                                                                                                                                | Poca importancia, si la hay                                                                                                                                        | Efectos graves y de larga duración                                                                                         | No se aplica                                                                                       | No se aplica                                                                                       |
| Confiabilidad del sistema                           | Algunos efectos distintos de los descritos anteriormente                                                                   | Cierta reducción a causa del cambio constante en el caudal                                                                                                 | Poco o ninguno                                                                                                                                                     | Poco o ninguno                                                                                                             | Los cambios bruscos afectan gravemente la confiabilidad; los lentos en menor grado o no la afectan | Los cambios bruscos afectan gravemente la confiabilidad; los lentos en menor grado o no la afectan |

Cuadro 7 (concl.)

| Atributos de los sistemas de abastecimiento de agua                           | Parámetros de los caudales                                                                                                               |                                                                                                                   |                                                                                         |                                                                                                                                                  |                                                                                                                                        | Velocidad del cambio                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                               | Disminución del caudal medio                                                                                                             | Aumento de la varianza del caudal                                                                                 | Aumento de las extremas del caudal                                                      | Aumento de la persistencia del caudal                                                                                                            | Velocidad del cambio                                                                                                                   |                                                                                                                                    |
| Magnitud y regulación de la demanda                                           | Sin efectos importantes                                                                                                                  | Sin efectos importantes                                                                                           | Sin efectos importantes                                                                 | Sin efectos importantes; las restricciones de emergencia probablemente tengan menos eficacia en las sequías prolongadas                          | Sin efectos importantes y relativamente rápidos pueden obligar a adoptar medidas importantes para regular la conservación y la demanda | Efectos importantes y relativamente rápidos pueden obligar a adoptar medidas importantes para regular la conservación y la demanda |
| Costo de operación del sistema hídrico                                        | Sin efectos importantes, salvo si hay construcciones adicionales                                                                         | Posible incremento a causa de la turbiedad, mayor bombeo entre sistemas y posible construcción de embalses        | Efectos importantes improbables                                                         | Sin efectos importantes, salvo la búsqueda de nuevas fuentes                                                                                     | Sin efectos                                                                                                                            | Sin efectos                                                                                                                        |
| Presiones sobre el sistema hídrico y capacidad de éste de adaptarse al cambio | Presiones para expandirlo si los déficit son frecuentes. La capacidad de respuesta no resultaría afectada por los fenómenos hidrológicos | Presiones para expandirlo, pero un retorno rápido a la normalidad puede impedir la expansión durante algún tiempo | Podrían producirse presiones para expandirlo si los déficit se presentan con frecuencia | Las presiones para expandirlo aumentarían con el tiempo; sin embargo, los períodos prolongados de caudales elevados pueden impedir la ampliación | Los cambios repentinos o rápidos pueden propiciar la intervención; los cambios a largo plazo probablemente se desearían                | Los cambios repentinos o rápidos pueden propiciar la intervención; los cambios a largo plazo probablemente se desearían            |

Fuente: H. E. Schwarz, "Climatic change and water supply: how sensitive is the northeast?", *Climatic change and water supply*, Studies in Geophysics, National Academy of Sciences, Washington, D. C., 1977, citado en Asit K. Biswas, "Climate and water resources", Asit K. Biswas (comp.), *Climate and development*, serie Natural Resources and the Environment, 1984, vol. 13, Dublin, Tycooly International Publishing.

a) Sensibilidad de los sistemas hídricos a los cambios de escurrimiento

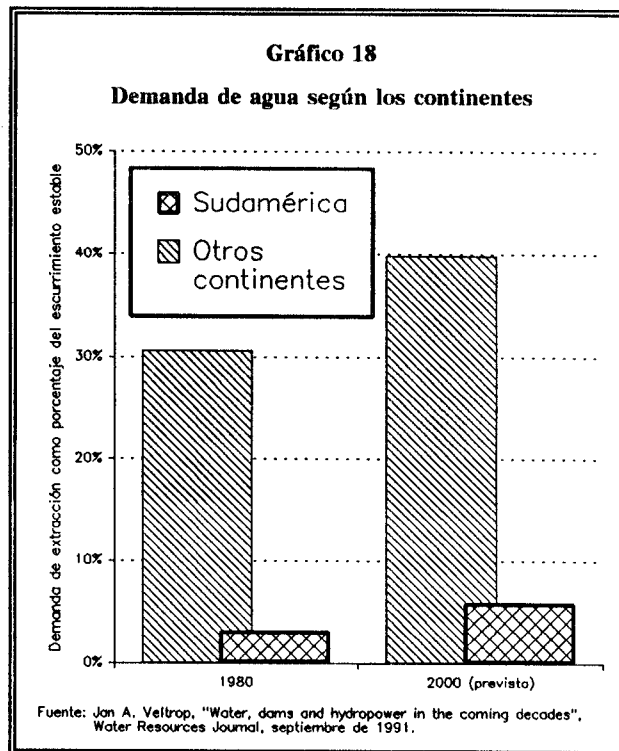
El aumento y la disminución del escurrimiento pueden tener graves consecuencias para la ordenación del agua. América Latina y el Caribe, en conjunto, posee un abastecimiento muy abundante de agua, aunque existen algunas zonas muy áridas (véase el gráfico 18). Por lo tanto, el efecto de la elevación de la temperatura atmosférica sobre la disponibilidad de agua repercutirá sobre todo en las áreas marginales, donde incluso cambios relativamente pequeños del régimen pluviométrico pueden traducirse en sequías o inundaciones.

La disminución de las precipitaciones medias, el aumento de la evapotranspiración y la mayor variabilidad de las precipitaciones pueden significar un menor escurrimiento y, por consiguiente, una mayor frecuencia de la insuficiencia y escasez del agua. Los sistemas hídricos más sensibles a la disminución del escurrimiento son aquellos en que la demanda actual se acerca a la capacidad de abastecimiento o la sobrepasa, situación característica de la mayoría de las regiones áridas y semiáridas. Sin embargo, pueden también presentarse problemas en áreas más húmedas cuando la demanda excede la oferta. En tales condiciones, pueden intensificarse las controversias entre la utilización del agua extraída para consumo, especialmente entre el consumo en gran escala como el riego y otros usos, y entre el uso no consuntivo que requiere el mantenimiento de caudales mínimos.

El aumento de las precipitaciones medias y de su variabilidad pueden traducirse en un mayor escurrimiento y, por consiguiente, en inundaciones más frecuentes. El cambio de un régimen de distribución más uniforme de las precipitaciones a otro de temporales menos frecuentes pero más intensos puede aumentar el peligro de inundaciones (Riebsame, 1989). Cualquier incremento importante de la frecuencia e intensidad de las crecidas puede tener graves consecuencias en materia de protección contra inundaciones, drenaje de aguas pluviales y diseño y operación de prácticamente todos los sistemas de regulación del agua.

b) Efectos del cambio climático sobre el escurrimiento

Los efectos del cambio climático mundial sobre las precipitaciones y la temperatura se traducirían en mayores variaciones del escurrimiento (véase el gráfico 19). Todo cambio que experimentare cualquiera de ellos repercutiría con mayor fuerza en las áreas en que este equilibrio ya es precario, es decir, donde existe actualmente un déficit frecuente de escurrimiento (Neméc, 1990).



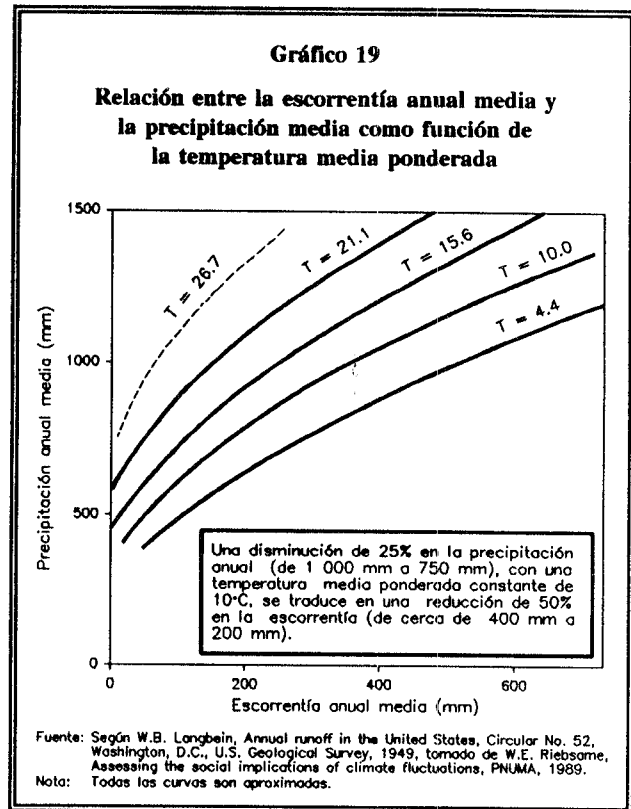
La sensibilidad del escurrimiento a una variación de las precipitaciones y la temperatura depende de diversos factores. A medida que la temperatura sube, hay mayor cantidad de agua que ingresa a la atmósfera en forma de vapor de agua y la evapotranspiración aumenta más que linealmente con la temperatura. En algunos estudios se señala que si la temperatura y las precipitaciones aumentaran al doble se cuadruplicaría la reducción porcentual del escurrimiento estival (Gleick, 1987). El escurrimiento puede incluso disminuir en mayor medida, puesto que el incremento no lineal del contenido de agua atmosférica producirá probablemente un mayor aumento de la evaporación que de las precipitaciones (Cline, 1992b).

Durante los años secos las variaciones de las precipitaciones son generalmente menos pronunciadas que los cambios del escurrimiento. La razón principal de ello reside en que la evapotranspiración es relativamente constante de un año a otro, y que la mayor parte de las necesidades en materia de evapotranspiración deben satisfacerse antes de que se produzcan el escurrimiento superficial y la alimentación de las aguas subterráneas; una disminución relativamente pequeña de las precipitaciones tiende a transformarse en una reducción más importante del escurrimiento superficial (Biswas, 1984).

Los estudios existentes señalan que el caudal de las corrientes es sensible a los cambios climáticos. El efecto en las corrientes de poco caudal es mayor que el de las corrientes de gran volumen y los climas secos acusan mayor impacto que los húmedos. La elasticidad del escurrimiento a los cambios en las precipitaciones es mayor que la elasticidad a la evapotranspiración potencial. Ello significa que en las áreas en que la elevación de la temperatura coincide con una disminución de las precipitaciones, el escurrimiento tenderá a disminuir más en comparación con las zonas en que sólo se produce un aumento de la temperatura (Schaake, 1990).

La contribución relativa de los cambios en las precipitaciones y la temperatura a las modificaciones del escurrimiento varía entre las zonas climáticas, según si gran parte de la escorrenría anual depende exclusivamente de las lluvias o si existe un aporte importante proveniente de las crecidas de primavera por presión de las nieves.

Cuando gran parte del escurrimiento anual proviene de las precipitaciones, la escorrenría variará inclusive con pequeños cambios climáticos, especialmente en las regiones áridas y semiáridas. Por ejemplo, un aumento de 1°C a 2°C de la temperatura, en conjunción con un descenso de 10% en las precipitaciones, puede producir perfectamente una reducción de 40% a 70% del escurrimiento anual en esas regiones. Los datos empíricos y los modelos hidrológicos muestran que el escurrimiento anual parece ser más sensible a los cambios en las precipitaciones que a las variaciones de temperatura (Linz,



Shiklomanov y Kara, 1990). En las áreas húmedas, un calentamiento de 3°C puede significar un menor rendimiento de agua de sólo 10% a 15%, en el supuesto de que las precipitaciones se mantengan sin variación (Fuenzalida y otros, 1989).

Puesto que el agua de la mayoría de los ríos de América Latina proviene íntegramente de las lluvias, una variación del régimen de precipitaciones repercute significativamente en su caudal (CEPAL, 1979). En estudios recientes se ha tratado de evaluar el efecto posible del calentamiento atmosférico sobre la disponibilidad de agua en dos cuencas fluviales de la región tropical húmeda de Venezuela y en la cuenca del Río de la Plata en Uruguay. Los resultados revelan claramente los efectos de los cambios en las precipitaciones sobre las variaciones del escurrimiento superficial anual y estacional (Andressen y Rincon, 1991; Carlose, Tucci y Domiani, 1991).

En las regiones donde parte importante del escurrimiento anual proviene de las crecidas de primavera por fusión de las nieves, un clima más cálido significa un deshielo prematuro y una menor proporción de precipitaciones en forma de nieve. En las áreas en que las nevadas invernales son las precipitaciones predominantes y el escurrimiento proviene principalmente de la fusión de las nieves en primavera, cualquier aumento perceptible de la temperatura producirá probablemente severas variaciones en la configuración estacional del escurrimiento. Incluso en áreas donde las precipitaciones no disminuyen, una temperatura más cálida aumentaría el escurrimiento invernal y disminuiría el escurrimiento estival, ya que la nieve se derrite antes en la primavera y se producen más precipitaciones en forma de lluvias (Rosenberg y otros, 1989). En las áreas y períodos en que disminuyen las precipitaciones, el escurrimiento se reducirá más aún como resultado del efecto combinado de la menor precipitación y mayor evaporación causadas por temperaturas más cálidas.

En un clima más cálido resulta difícil hacer predicciones respecto del manto de nieve estacional, pero se puede afirmar con bastante seguridad que la extensión y duración de la nieve estacional disminuirán en la mayoría de las regiones, particularmente en las latitudes medias. Ya se ha producido una recesión marcada pero irregular de la mayoría de los glaciares de montaña desde finales del siglo XIX (Folland, Karl y Vinnikov, 1990). Existen pruebas de un receso de los glaciares en el ecuador, en las regiones tropicales de Sudamérica, la Patagonia, la península antártica y las islas de la región subantártica (Grove, 1988).

En las cuencas en que las nevadas y el deshielo estacionales representan la mayor parte del abastecimiento total de agua, la distribución anual del escurrimiento y la humedad del suelo es más sensible a las variaciones de la temperatura del aire que a los cambios en las precipitaciones (Linz, Shiklomanov y Kara, 1990). Esto es importante en la región meridional de Chile y Argentina, puesto que más allá de los 28° de latitud Sur las cuencas superiores de los ríos que nacen en la cordillera de los Andes reciben una cantidad sustancial de agua de los glaciares y de la nieve derretida (CEPAL, 1979). Un calentamiento anual medio de 2°C puede tener efectos importantes sobre la extensión de los hielos perpetuos en las cumbres más altas de México. La desaparición de los campos de hielo existentes, aunque no mayor de 5 km en la actualidad, tendría consecuencias importantes para la hidrología de los cursos de agua locales (Menchaca y Byrne, 1990).

c) Efecto del cambio climático sobre el el agua almacenada

La respuesta tradicional a las variaciones de escurrimiento es aumentar el suministro mediante la construcción de obras para almacenar el agua. Para el mundo en general, el almacenamiento en embalses permite incrementar el escurrimiento estable en 30% aproximadamente y en América del Norte en más de 90%. En 1985 Sudamérica era la que menos regulaba el escurrimiento entre las regiones importantes (L'vovich y otros, s.f.).

En varios estudios se ha intentado evaluar los efectos de las fluctuaciones climáticas sobre el almacenamiento en embalses. En uno de esos estudios se modificaron los regímenes de los escurrimientos estimados para varias cuencas a fin de calcular el tamaño necesario de los embalses para alcanzar determinado nivel de confiabilidad. En el caso de la cuenca árida del río Pease, en la región sudoccidental de los Estados Unidos, una disminución de 10% en las precipitaciones se tradujo en la necesidad de aumentar la capacidad de almacenamiento entre 150% y 200% para producir 20% del escurrimiento anual medio a un nivel fijo de confiabilidad (Neméc y Schaake, 1982). En otro estudio reciente se revela que para una disminución de 25% en las precipitaciones, la aportación podía mantenerse sólo si se aumentaba el almacenamiento en 400% (Neméc, 1990).

El cambio climático mundial afectaría el almacenamiento en embalses a través de los cambios de temperatura, así como mediante las variaciones en la sincronización y magnitud de los caudales estacionales asociados con la disminución del escurrimiento en el verano y su aumento en el invierno. Un clima más cálido significaría un incremento de la evaporación. Las pérdidas por evaporación pueden ser sustanciales, especialmente en embalses poco profundos o en aquéllos que almacenan un volumen superior a los flujos anuales.

En áreas en que el cambio climático mundial aumenta las precipitaciones, las lluvias copiosas y el escurrimiento más rápido intensificarían la erosión de terrenos y riberas, lo que se traduciría en mayor cantidad de sedimentos. En algunas zonas la recesión de los glaciares también contribuiría a incrementar el volumen de sedimentos fluviales, lo que afectaría el almacenamiento en los embalses situados aguas abajo.

## 2. Consecuencias del cambio climático mundial para el diseño de proyectos

Existen más de 1 400 embalses protegidos por grandes diques en América Latina y el Caribe con una capacidad total de almacenamiento de casi  $10^{12}$  m<sup>3</sup>.<sup>10</sup> No se sabe si las especificaciones técnicas basadas en determinados parámetros climáticos resistirán los cambios meteorológicos. En el análisis de confiabilidad de los embalses se utilizan registros históricos del escurrimiento y no se tiene en cuenta el efecto de los cambios potenciales en los parámetros climáticos.

a) Diseño de proyectos

El diseño de proyectos se basa siempre en la hipótesis implícita de que el proceso que produce la variabilidad del clima es estacionario y que las condiciones previstas en el futuro variarán en torno a una media fija. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) ha uniformado estas normas mediante el empleo de promedios de variables climáticas tomadas en un período de 30 años y actualizadas cada diez años para producir un conjunto de valores normales que representan la tendencia central (Dooge, 1987).

En los criterios de administración de proyectos normalmente se usan condiciones hidrológicas establecidas a partir de datos históricos correspondientes al período anterior (30 a 100 años), y existen márgenes de seguridad para prever errores y condiciones anormales (Riebsame, 1990). El supuesto de que el clima se mantendrá estable durante la vida del proyecto es inherente a toda la ingeniería de los recursos hídricos (Dooge, 1987). Por ejemplo, en los proyectos de defensa contra las inundaciones, la crecida máxima prevista se basa en los registros máximos de las precipitaciones o agua de deshielo de las nieves, extrapolados a toda la cuenca en la hipótesis de una saturación del suelo (Riebsame, 1989).

Una variación del clima durante la vida útil de muchos proyectos hidráulicos puede representar un grave dilema. Si el clima se torna más húmedo, las costosas obras de inversión pueden resultar innecesarias y habrá un despilfarro de recursos escasos; si, por el contrario, el clima se vuelve más seco, las mismas obras pueden revelarse insuficientes para satisfacer la demanda (Dooge, 1987).

El cambio climático mundial implica una variación en las propiedades estadísticas de los elementos climáticos y, dependiendo de los márgenes de seguridad incorporados en el diseño de proyectos, la variación del clima modificará la frecuencia de las condiciones que se aproximan a los umbrales de colapso o los exceden. Si en el diseño de un proyecto se utiliza un nivel de confiabilidad socialmente aceptable, toda modificación de los elementos climáticos que sobrepase la incertidumbre inherente al análisis hidrológico y climatológico violará los criterios explícitos e implícitos de planificación (Riebsame, 1990). Por lo tanto, se justifica considerar la manera de incorporar los efectos del cambio climático global en los análisis de diseño y riesgo para la construcción, la reparación y el reemplazo de los proyectos existentes (EPA, 1988b).

Habría que reexaminar muchas de las hipótesis estadísticas básicas utilizadas en la planificación de los sistemas de regulación del agua. Entre ellas figuran el empleo de una media estacionaria y una varianza constante en el tiempo. La confiabilidad de los depósitos, simulada con trazas hidrológicas generadas en la hipótesis de una media no estacionaria, puede ser muy diferente de la confiabilidad con arreglo a condiciones hidrológicas constantes (Lettenmaier y Burges, 1978).

Las consecuencias del cambio climático afectarán todos los criterios de diseño y modelos de aportación que utilizan parámetros climáticos medios. Ello será especialmente importante para los sistemas de regulación del agua que dependen de una infraestructura fija de gran envergadura, como canales, presas, embalses, sistemas de riego, con elevados costos unitarios de inversión y períodos de construcción y vida útil prolongados. La causa principal de preocupación respecto de las estructuras hidráulicas actuales, en especial las que fueron diseñadas para regular las crecidas, es la posibilidad de un colapso en condiciones meteorológicas extremas. Por ejemplo, la escasa probabilidad de que ocurran grandes crecidas puede aumentar con un cambio climático y en caso de que éstas se produzcan, provocarán el colapso de los diques con sistemas inadecuados de rebase (EPA, 1988b). Sin embargo, en la mayoría de los países la infraestructura hidráulica es de diseño sólido y flexible, capaz de resistir condiciones meteorológicas extremas, como por ejemplo caudales extraordinariamente altos o bajos y una modificación en su periodicidad.

#### b) Selección de materiales de construcción y mantenimiento

La humedad excesiva y las altas temperaturas debilitan el cemento de alúmina y la baja humedad y un elevado ritmo de evaporación producen el agrietamiento plástico del concreto (Parry y Read, 1988). La contaminación del aire afecta algunos metales y otros materiales de construcción y la contaminación



puede aumentar con la elevación de la temperatura debido al efecto invernadero (Graedel y McGill, 1986). Los niveles elevados de humedad agudizan también el daño material que causa la contaminación ácida y otros tipos de contaminación del aire y es probable que la lluvia ácida aumente en condiciones de calentamiento atmosférico y agotamiento de la capa de ozono estratosférico (IPCC, 1990a).

Una mayor exposición a la radiación ultravioleta puede afectar los materiales sintéticos y el plástico es especialmente vulnerable (Shea, 1988). Concretamente, los niveles elevados de radiación de onda corta inferiores a 295 nm se traducirán en una aceleración considerable de los procesos de degradación fotoinducida de los revestimientos exteriores de material plástico y de otro tipo (Hashimoto, Styrikovic y Nishioka, 1990). La resistencia de estos materiales a la radiación ultravioleta puede aumentarse recurriendo a estabilizadores químicos.

Con la destrucción de la capa de ozono estratosférico aumentará la cantidad de ozono y otros oxidantes fotoquímicos en la superficie de la Tierra. El ozono superficial contribuye al deterioro de pinturas, tejidos, elastómeros y plásticos (OCDE, 1990). Ello puede tener algunas consecuencias para el diseño de proyectos y la selección de materiales de construcción apropiados.

c) Construcción de proyectos

El frío y el calor extremos, la lluvia y las tormentas causan muchas demoras en la construcción. Todavía no puede determinarse si los efectos adversos del incremento de las lluvias serán mayores o menores que los efectos benéficos del calentamiento sobre la construcción durante los meses invernales (Cline, 1992a). El clima predominante en América Latina y el Caribe indica que los cambios climáticos tendrían efectos desfavorables sobre la construcción, debido a las mayores precipitaciones y la incidencia de las ondas térmicas, salvo en las áreas de alta montaña y en los confines meridionales donde serían beneficiosas.

Los cambios en las condiciones de los cimientos, como la consolidación y el esponjamiento del suelo resultantes del cambio climático en zonas muy arcillosas, puede tener consecuencias importantes para la construcción de estructuras de regulación en algunas áreas (OMM/PNUMA/IPCC, 1992). Análogamente, una variación importante en la zona de hielos perpetuos destruiría la infraestructura en dicha área.

El calentamiento provocado por el efecto invernadero puede deteriorar los niveles de comodidad térmica de los seres humanos, especialmente para quienes trabajan a la intemperie en la construcción y actividades similares, con una posible disminución de la productividad por trabajador.

### 3. Respuestas posibles

La incertidumbre que rodea la periodicidad, la magnitud y las modalidades regionales del cambio climático dificulta la selección de respuestas adecuadas. Las estrategias más corrientes para enfrentarse a una incertidumbre de esta envergadura comprenden la postergación de las decisiones hasta tanto no se disponga de información adicional, la introducción de flexibilidad en el diseño y funcionamiento de proyectos y la incorporación de salvaguardas o imprevistos en el diseño de proyectos.

La introducción de flexibilidad en el diseño y funcionamiento de proyectos permitirá aportar respuestas beneficiosas a medida que se cuente con nuevas informaciones. Todo cambio necesario resultará entonces relativamente fácil y barato. Quizá sea aconsejable optar por la alternativa que permite la máxima flexibilidad, la que tal vez sea preferible a aquella que sacrifica la flexibilidad en aras de obtener algunos beneficios netos actuales. Un ejemplo sencillo es la construcción de una gran presa que a causa de las economías de escala, aun cuando no se utilice plenamente durante largos períodos, resulta generalmente más barata que construir primero una más pequeña y luego otra varios años después. Por otra parte, la construcción de una gran presa puede significar que las pequeñas ya no resultan viables. La construcción de pequeñas presas deja abierta la opción de ampliarlas, aun cuando a un costo más elevado. Es cierto que en los proyectos más grandes pueden aprovecharse intrínsecamente las economías de escala, pero a menudo resultan menos flexibles debido a los largos períodos de gestación, las dificultades de modificación y los efectos negativos potencialmente mayores. Además, los proyectos más pequeños pueden ofrecer el beneficio adicional de una posible diversificación ulterior.

Una respuesta flexible a las condiciones climáticas cambiantes por una parte, y la promoción de investigaciones relativas a nuevas técnicas, tecnologías y prácticas de gestión, por otra, exigirán la creación de mecanismos institucionales apropiados. La fijación de precios en función del costo marginal y la comercialización del agua, así como medidas análogas para estimular el ahorro de agua y la redistribución del suministro en respuesta a las condiciones cambiantes son ejemplos de la clase de respuesta institucional que se necesita (Frederick y Gleick, 1989).

Quizá el aspecto normativo más importante para adaptarse a la incertidumbre hidrológica en condiciones climáticas cambiantes es la necesidad de crear y aplicar mecanismos para facilitar la redistribución del suministro de agua. El funcionamiento correcto del mecanismo del mercado es el único medio eficiente de adaptar la distribución a la escasez de recursos. Por lo tanto, es indispensable examinar la aplicación de los mecanismos del mercado al manejo del agua. Simultáneamente, es preciso determinar posibles fallas del mercado cuando éste no genera indicios de precios que puedan orientar a los usuarios de agua en la redistribución del suministro.

Se pueden garantizar sistemas sólidos y flexibles de regulación del agua en una amplia gama de climas mediante la incorporación de salvaguardas o imprevistos en el diseño de proyectos para estructuras hidráulicas nuevas, modificadas o rehabilitadas y sus procedimientos de operación y mantenimiento respectivos. La respuesta tradicional ante variaciones adversas de suministro y demanda de agua ha consistido ya sea en incrementar el abastecimiento mediante soluciones de tipo estructural, o restringir directamente la demanda. El análisis de la experiencia reciente indica que debe prestarse mayor atención a las soluciones de mercado.

Por último, la combinación o diversificación de riesgos es quizá el método recomendado con mayor frecuencia para mantener la flexibilidad en el diseño de los sistemas de regulación del agua. Suele existir una correlación negativa entre los beneficios y costos de los distintos proyectos o vinculados con distintas finalidades del mismo proyecto. Una modificación en uno de ellos se compensa con un cambio en sentido opuesto en el otro. La diversificación resulta particularmente adecuada en situaciones en que hay muchos proyectos interdependientes. La aportación de agua puede incrementarse sustancialmente cuando las estructuras y el abastecimiento de agua superficial y subterránea funcionan como un solo sistema y no como proyectos independientes (Sheer, 1985).

## B. ELEVACION DEL NIVEL DEL MAR

El aumento del nivel del mar puede inundar y desplazar las zonas pantanosas y las tierras bajas, erosionar los litorales, agravar las inundaciones provocadas por tormentas en las regiones costeras, aumentar la salinidad de los estuarios y amenazar los acuíferos de agua dulce y deteriorar además la calidad del agua, alterar la amplitud de las mareas en los ríos y bahías, modificar la configuración de la acumulación de sedimentos y disminuir la cantidad de luz que llega a las aguas profundas (véase el gráfico 20) (Tsyban y Titus, 1990).

Un aumento de un metro del nivel del mar en el próximo siglo podría inundar zonas situadas hasta 20 km al interior de la costa actual (Vellinga y Leatherman, s.f.). Las consecuencias de las medidas adoptadas para proteger las áreas contra inundaciones, marejadas y otros efectos de un aumento del nivel del mar se sentirían muchos kilómetros tierra adentro. Las consecuencias sociales y culturales de las medidas de reacción adaptativas afectarían a los habitantes de las zonas costeras en una franja de 50 km de anchura media (Charlier, 1987). Si se tienen en cuenta las mareas máximas de tormenta y los efectos aguas arriba de las inundaciones y la intrusión de agua salada, todo el terreno situado hasta cinco metros sobre el nivel medio del mar estará potencialmente sujeto, dentro de uno a tres siglos, a sufrir los efectos de un aumento de nivel del mar (Hekstra, 1989). La superficie terrestre que estaría sujeta a inundaciones o a sufrir indirectamente la influencia, el deterioro o volverse vulnerable por la intrusión de agua salada sería solamente cerca de 3% de la superficie terrestre actual, pero representaría la tercera parte de toda la superficie cultivable (Wind, 1987).

Los efectos que de alguna manera se aproximan a esta magnitud podrían tener consecuencias importantes en América Latina y el Caribe (véanse el gráfico 21 y los cuadros 8, 9 y 10). Toda elevación del nivel del mar aumentaría la competencia en la planicie costera remanente, lo que intensificaría su ocupación de suyo intensiva.

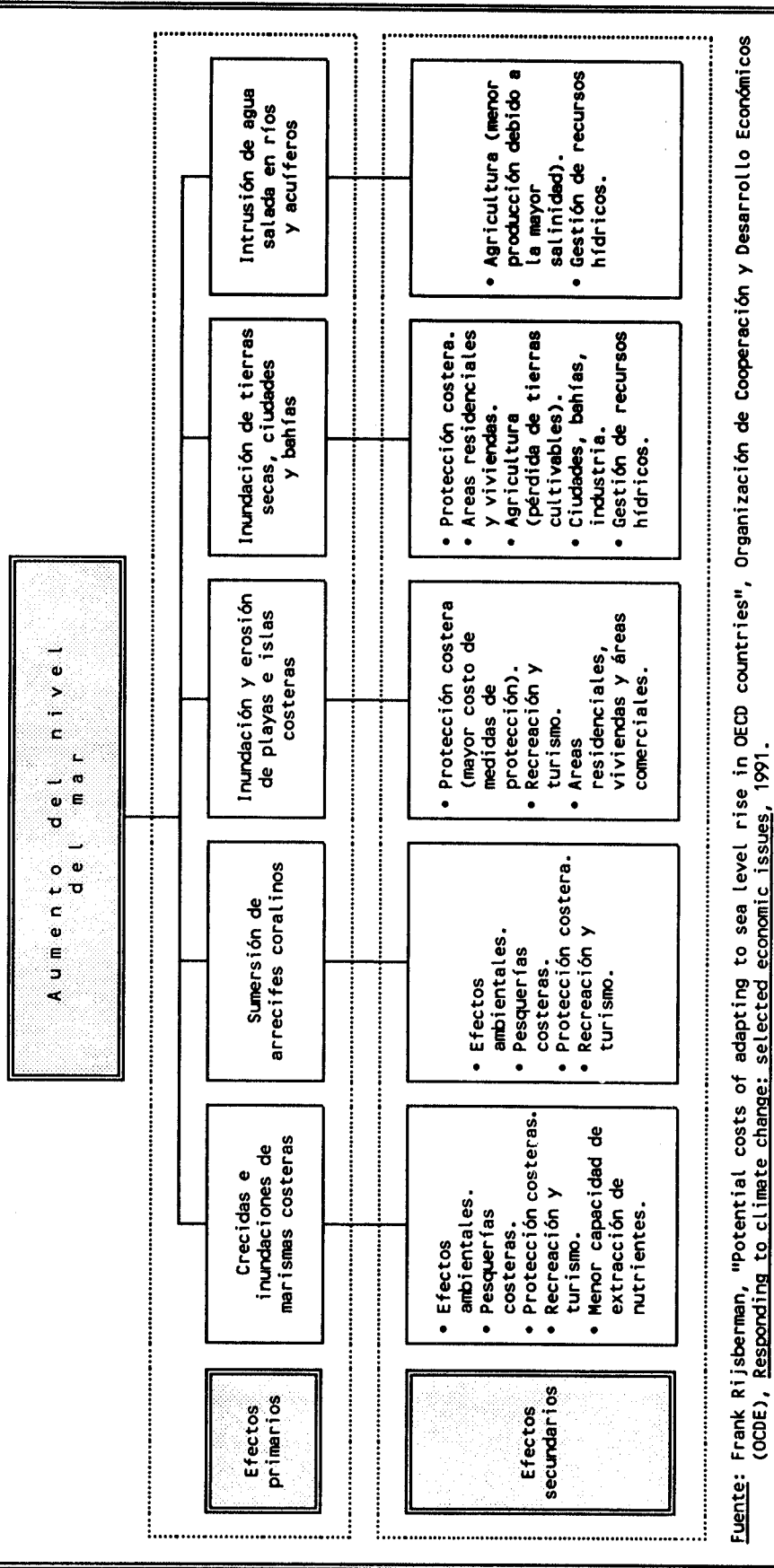
### 1. Inundaciones costeras, erosión de las playas y recesión del litoral

A medida que suba el nivel del mar pueden aumentar las inundaciones costeras, ya que también se incrementará la base para la formación de mareas de tormenta (EPA, 1988b; Tsyban y Titus, 1990). Esto es particularmente importante en las áreas en que los huracanes o grandes tormentas son frecuentes, como Centroamérica y el Caribe. La elevación del nivel del mar en un metro haría que muchas zonas que actualmente sólo son inundadas por tormentas que ocurren cada 100 años lo fueran con una periodicidad de 15 años y las olas huracanadas penetrarían más profundamente dentro del territorio (EPA, 1988b). La erosión de las playas dejaría las zonas costeras más vulnerables a los oleajes tempestuosos. La erosión eliminaría las barreras de protección como playas, dunas, pantanos y manglares, que actualmente protegen muchas áreas de un ataque directo de las olas y las haría más vulnerables a las inundaciones (Tsyban y Titus, 1990).

Además, al aumentar el nivel del agua se reduciría el drenaje costero. Ello incrementaría las inundaciones atribuibles a los temporales y al crecimiento del nivel de los ríos y exigiría el bombeo suplementario de áreas drenadas artificialmente que posiblemente sobrepasaría la capacidad de bombeo actual. Un nivel freático más elevado inundaría los subterráneos y en áreas en que las aguas subterráneas se hallan cerca de la superficie éstas aflorarían a ella por lixiviación (EPA, 1989b).

Gráfico 20

Efectos primarios y secundarios de un aumento del nivel del mar



Fuente: Frank Rijsberman, "Potential costs of adapting to sea level rise in OECD countries", Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), Responding to climate change: selected economic issues, 1991.

El aumento del nivel del mar y la consiguiente obstrucción de las desembocaduras de los ríos incrementarían el número de áreas vulnerables a las crecidas en muchos ríos grandes y pequeños a lo largo de la costa de América Latina y el Caribe (Salati, 1990). El efecto de un cambio de esta magnitud sería particularmente grave en áreas en que el aumento del nivel del mar coincide con un incremento de las precipitaciones y el escurrimiento, particularmente de la frecuencia y magnitud de los ciclones tropicales, las tempestades en las zonas costeras y los cambios en la periodicidad de los deshielos.

Entre las principales medidas correctivas para abordar los problemas de la inundación de las costas, la erosión de las playas y la recesión del litoral se incluyen (Rijsberman, 1991):

- el abandono de las tierras urbanizadas;
- la no urbanización de áreas propensas a sufrir inundaciones o su urbanización sólo cuando se hayan adoptado las precauciones adecuadas para reducir al mínimo el riesgo de daños futuros por inundaciones;
- la adaptación de la infraestructura actual a las inundaciones periódicas sin aumentar la protección del litoral; y
- la protección del litoral contra las inundaciones y la adopción de medidas suplementarias para corregir problemas conexos de drenaje, infiltración de agua salada, etc.



## 2. Salinización de aguas subterráneas, ríos, bahías y suelos

La intrusión de agua salada en el acuífero puede volverlo inutilizable para fines de abastecimiento de agua potable y riego. El aumento del nivel del mar podría elevar el nivel subterráneo del agua salada y reducir la profundidad del agua dulce suprayacente. En las zonas de bajo relieve, el nivel freático podría descender a los niveles del agua salada durante la estación seca, lo que provocaría la desaparición de los depósitos poco profundos de agua dulce.

Cuadro 8

PACIFICO SUDORIENTAL: EFECTOS DE UN AUMENTO DE 28 CENTIMETROS EN EL NIVEL DEL MAR  
SOBRE LOS ESTUARIOS PRINCIPALES

| Estuario        | Efectos     | Estuario     | Efectos     | Estuario          | Efectos     |
|-----------------|-------------|--------------|-------------|-------------------|-------------|
| <b>CHILE</b>    |             |              |             |                   |             |
| Petorca         | Moderados   | Ñuble        | Importantes | Puelo             | Moderados   |
| Aconcagua       | Escasos     | Bío-Bío      | Escasos     | Yelcho            | Escasos     |
| Maipo           | Escasos     | Imperial     | Escasos     | Cisnes            | Escasos     |
| Rapel           | Escasos     | Toltén       | Escasos     | Palena            | Escasos     |
| Mataquito       | Escasos     | Valdivia     | Escasos     | Baker             | Escasos     |
| Maule           | Escasos     | Bueno        | Escasos     | Pascua            | Escasos     |
| Itata           | Importantes | Maullín      | Moderados   | Serrano           | Escasos     |
| <b>COLOMBIA</b> |             |              |             |                   |             |
| Docapadó        | Moderados   | Micay        | Moderados   | Patía             | Importantes |
| San Juan        | Moderados   | Timbiquí     | Importantes | Mira              | Moderados   |
| Dagua           | Importantes | Guapí        | Importantes | Mataje            | Importantes |
| Cajambre        | Moderados   | Tapaje       | Importantes |                   |             |
| Yurumangui      | Moderados   | Sanquianga   | Importantes |                   |             |
| <b>ECUADOR</b>  |             |              |             |                   |             |
| Esmeraldas      | Importantes | Daule        | Importantes | Estuario interior | Importantes |
| Guayas          | Importantes |              |             |                   |             |
| <b>PANAMA</b>   |             |              |             |                   |             |
| Tuira           | Escasos     | Chiriquí     | Moderados   |                   |             |
| <b>PERU</b>     |             |              |             |                   |             |
| Tumbes          | Escasos     | Jequetepeque | Escasos     | Mala              | Importantes |
| Pisco           | Moderados   | Noche        | Moderados   | Huanra            | Escasos     |
| Piura           | Escasos     | Rimac        | Escasos     |                   |             |
| Camaná          | Escasos     | Lurín        | Escasos     |                   |             |

Fuentes: Rosa Aguilera y otros, *Efectos de los cambios climáticos en los ecosistemas costeros y marinos de Chile*, Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (comps.), Valparaíso, Chile, abril de 1992; Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)/Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS), Plan de Acción para la Protección del Medio Marino y Áreas Costeras del Pacífico Sudeste, *Efectos de los cambios climáticos en los ecosistemas costeros y marinos del Pacífico Sudeste*, Informe del Grupo de Trabajo Regional, Segunda Reunión, Santiago de Chile, 1991.

Cuadro 9

## CONSECUENCIAS DE LOS CAMBIOS CLIMATICOS EN EL GRAN CARIBE

|                                 | Nivel de vulnerabilidad              |                                    |
|---------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
|                                 | Aumento de 20 cm en el nivel del mar | Aumento de 1.5°C en la temperatura |
| <b>Ecosistemas</b>              |                                      |                                    |
| Deltas                          | Importantes                          | Escasas                            |
| Estuarios                       | Moderadas                            | Moderadas                          |
| Pantanos                        | Moderadas                            | Moderadas                          |
| Lagunas costeras                | Moderadas                            | Escasas                            |
| Arrecifes coralinos             | Moderadas                            | Moderadas                          |
| Manglares                       | Moderadas                            | Escasas                            |
| Vegas marinas                   | Moderadas                            | Moderadas                          |
| Pesquerías                      | Escasas                              | Moderadas                          |
| Agricultura                     | Escasas                              | Escasas                            |
| Bosques                         | Escasas                              | Moderadas                          |
| <b>Sistemas socioeconómicos</b> |                                      |                                    |
| Zonas costeras                  | Escasas                              | Moderadas                          |
| Turismo                         | Moderadas                            | Escasas                            |
| Asentamientos y estructuras     | Moderadas                            | Escasas                            |
| Salud pública                   | Escasas                              | Moderadas                          |
| Tormentas tropicales            | Escasas                              | Importantes                        |

*Fuente:* Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), "Perspectiva regional sobre los problemas y prioridades ambientales que afectan los recursos costeros y marinos de la región del Gran Caribe", *Informe Técnico del PAC N° 2*, Programa Ambiental del Caribe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Kingston.

Cuadro 10

**EFFECTOS DE UN AUMENTO DE 35 CM EN EL NIVEL DEL MAR EN 2050 SOBRE  
LOS ECOSISTEMAS PRINCIPALES**

| <b>Ecosistema</b>            | <b>Tropical/subtropical</b> | <b>Latitudes medias</b> | <b>Polar/subpolar</b> |
|------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Deltas                       | Importantes                 | Importantes             | Importantes           |
| Estuarios                    | Moderados                   | Moderados               | Moderados             |
| Zonas pantanosas             | Moderados                   | Moderados               | Moderados             |
| Llanuras costeras            | Moderados                   | Moderados               | Escasos               |
| Arrecifes coralinos          | Escasos                     | Importantes             | -                     |
| Lagunas                      | Moderados                   | Moderados               | Moderados             |
| Manglares                    | Moderados                   | -                       | -                     |
| Bordes de los hielos         | -                           | Escasos                 | Moderados             |
| Lechos de zosteras marítimas | Moderados                   | Moderados               | Escasos               |
| Pesquerías                   | Moderados                   | Escasos                 | Escasos               |
| Ríos                         | Escasos                     | Escasos                 | Escasos               |
| Lagos costeros               | Escasos                     | Escasos                 | Moderados             |
| Playas                       | Importantes                 | Importantes             | Importantes           |

*Fuente:* A. Tsyban, J. Everett y M. Perdomo, "World oceans and coastal zones" *Draft contribution to the 1992 IPCC supplement. Task 2: prediction of the regional distributions of climate change and associated impact studies, including model validation studies. Supporting material* (IPCC/WG-II/5th/Doc.4, Add.1 (15.I.1992), IPCC Working Group II (Impacts), Organización Meteorológica Mundial (OMM), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (IPCC), Ginebra 1992.



Un aumento del nivel del mar representa una amenaza especialmente grave para los recursos de agua subterránea en islas que dependen para su abastecimiento de agua de las fisuras de agua dulce situadas sobre el agua salada. Disminuiría el espesor de esas fisuras, lo que haría bajar el volumen del agua dulce almacenada. La mayor probabilidad de que las tormentas laven la superficie agravaría más aún la incidencia de la contaminación con agua salada. En general, el agua salada avanzaría aguas arriba en los estuarios y amenazaría las tomas de agua dulce y los acuíferos adyacentes. El aumento de la incursión de agua salada hacia las zonas estuarinas de agua dulce, junto con una mayor excursión de las mareas, reduciría la porción de agua dulce de los ríos estuarinos, especialmente durante los períodos de sequía o cuando se produjera una disminución del escurrimiento neto de agua dulce debido al cambio climático y una mayor extracción de las masas de agua altera el hidrográfico anual.

El costo de la lucha contra la intrusión de agua salada puede ser considerable en áreas que actualmente gastan poco en ello. Puede ser preciso adoptar costosas medidas de protección como, por ejemplo, desviar la admisión de agua o el caudal de los ríos y represar brazos de mar (Rijsberman, 1991).

### 3. Alteraciones en la estructura de la deposición de sedimentos

Todo cambio en el nivel del mar afectaría los procesos de deposición de sedimentos. Esta continuaría en las zonas de estuarios y deltas, pero las playas perderían sedimentos en los sumideros costeros, lo que se traduciría en mayores tasas de regresión del litoral (ASPEI, 1990).

La mayor demanda de agua provocada por el cambio climático puede reducir considerablemente el caudal de los ríos en algunas áreas. Esto podría afectar por consiguiente la descarga de sedimentos y las características de la erosión y deposición a lo largo de la costa (Bardach, 1988).

### 4. Sistemas hidrológicos costeros e interiores

Un aumento del nivel del mar afectaría negativamente los sistemas hidrológicos. Por ejemplo, el incremento del nivel de los ríos que se aproximan al mar y la obstrucción de su desagüe exigiría la modificación de los sistemas de drenaje de tierras y el ajuste de diques, compuertas y sistemas de bombeo (Parry, Mendzhulin y Sinha, 1990).

No todos los países de América Latina y el Caribe son igualmente vulnerables a una elevación del nivel del mar. Aunque éste ha fluctuado en el pasado geológico, las áreas de los cambios futuros se hallan actualmente habitadas. Muchas personas de la región viven en las zonas costeras y muchas de las grandes ciudades son puertos. Cabe lamentar que los asentamientos humanos costeros se establecieron durante un período en que el nivel medio del mar varió y sean, por lo tanto, sensibles a cualquiera variación futura.

Entre las áreas más vulnerables al incremento del nivel del mar figuran los deltas, los pólderes, las zonas sujetas a daños por inundaciones marinas, las áreas con ciertos tipos de suelos como los jóvenes suelos fluviales y suelos gley, islas y atolones pequeños y marismas, incluidos manglares y pantanos (PNUMA, 1989d). En general, la salida de las aguas afectaría las costas de las tierras bajas, compuestas de barro y arena fácilmente erosionables, pero tendría poca influencia en costas salpicadas de grandes rocas, como las de Chile (Rosenberg y otros, 1989).

Además inundaría y causaría una gran pérdida de áreas habitadas, especialmente las zonas de tierras bajas y de deltas y estuarios planos. En los deltas demasiado planos una subida de un metro de nivel del mar haría que las costas se retiraran varios kilómetros (Tsyban y Titus, 1990). En el caso de grandes ríos en deltas planos, con una profundidad de 10 a 20 metros y una pendiente de las aguas superficiales de dos a cinco centímetros por kilómetro, las aguas del mar penetrarían cientos de kilómetros (IPCC/WGIII, 1990). Varios grandes ríos de Sudamérica, entre ellos el Magdalena, el Orinoco, el Amazonas y el Paraná, tienen escasa pendiente (IPCC/WGIII, 1990).

### C. AGOTAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO ESTRATOSFERICO

El agotamiento de la capa de ozono estratosférico afectará la ordenación de los recursos hídricos directamente, por la mayor exposición a la radiación ultravioleta, e indirectamente, a través de sus efectos en la formación del ozono troposférico.

Entre las consecuencias directas se incluyen un aumento de la cantidad de radiación ultravioleta que llega a la superficie y los efectos, en gran parte todavía desconocidos, sobre el clima de la Tierra. El aumento de la radiación ultravioleta en la superficie de la Tierra podría tener consecuencias importantes para ciertas utilidades del agua en América Latina y el Caribe, entre ellas el uso de agua con fines agrícolas, la lucha contra la contaminación del agua, la pesca y las actividades de esparcimiento acuáticas.

La destrucción de la capa de ozono estratosférico aumentaría la cantidad de ozono y posiblemente otros oxidantes fotoquímicos en la troposfera y agravaría el problema de la lluvia ácida. La contaminación fotoquímica del aire es nociva para la salud y daña la vegetación y algunos materiales de construcción.

### Capítulo III

## USO CONSUNTIVO DEL AGUA Y CAMBIO CLIMATICO

### A. AGRICULTURA

En la mayoría de los países de América Latina y el Caribe, la agricultura supera con creces a los demás sectores en la utilización de agua. El riego es indiscutiblemente el principal componente de la demanda de agua para la agricultura y el menor cambio climático y meteorológico lo afecta. Representa aproximadamente 78% del total de extracciones de agua en Sudamérica y casi 90% del uso consuntivo.<sup>11</sup> En consecuencia, incluso los cambios relativamente pequeños en la demanda de agua para riego pueden afectar significativamente el agua disponible en general.

#### 1. Calentamiento debido al efecto invernadero

El cambio climático mundial no crearía necesariamente dificultades para la agricultura en América Latina y el Caribe, aunque algunas regiones resultarían afectadas (recuadro 4). La agricultura puede beneficiarse al menos en algunos países, donde el cambio climático puede contribuir a ampliar la superficie de cultivo y aumentar el rendimiento de la cosecha. Frente a los cambios climáticos y de otros aspectos ambientales, cualquier daño sería limitado, debido a la adaptabilidad y flexibilidad de la agricultura. No hay razón para pensar que la agricultura no seguirá adaptándose. Además, los continuos adelantos tecnológicos y de gestión, semejantes a los que se produjeron en los últimos decenios, también podrían contrarrestar las pérdidas debidas al cambio climático. Aún no se ha analizado a fondo la capacidad del sector agrícola para hacer frente al desafío del calentamiento de la Tierra, capacidad que puede ser escasa en algunas zonas, sobre todo en el sector de la agricultura de subsistencia.

Las zonas más vulnerables son las que ya sufren fluctuaciones del clima y donde, debido a limitaciones de recursos, no es posible ajustarse tecnológicamente al cambio. En dichas zonas, aun los cambios climáticos relativamente leves, especialmente de la humedad disponible, suelen determinar si el año será aceptable o malo. Constituye un ejemplo la zona de transición entre los climas semihúmedo y árido, como en el nordeste del Brasil, donde las variaciones de las lluvias y la constante evaporación potencial afectan considerablemente la productividad agrícola (MIT, 1971). La menor cantidad de humedad disponible combinada con el efecto del mayor estrés calórico y las pérdidas por evaporación pueden reducir la capacidad de producción. En zonas de agricultura de secano, este fenómeno puede provocar una importante reducción de la superficie de cultivo, si no se introduce el riego. En el caso de zonas regadas, su superficie puede reducirse si no aumenta la eficiencia en la utilización del agua o mejora su abastecimiento.

## Recuadro 4

**ESTIMACIONES DEL GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE  
CAMBIOS CLIMATICOS ACERCA DE LOS EFECTOS POTENCIALES DE LA  
DUPLICACION DEL EQUIVALENTE DE ANHIDRIDO CARBONICO EN  
LA PRODUCTIVIDAD DE LOS CULTIVOS  
MEXICO Y CENTROAMERICA**

Un calentamiento de 3.3°C a 5.4°C, sumado a cambios en el régimen de precipitaciones de -23% a +3%, dependiendo del modelo de circulación, produciría condiciones más cálidas y secas y una disminución de la humedad del suelo de 10% a 20%. Esto se traduciría en menor producción de maíz y otros cultivos de secano y al sumarse la fatiga térmica y la escasez de agua para riego, en menores rendimientos de los principales cultivos de riego como el trigo. Si aumentaran las precipitaciones, especialmente su intensidad, podrían provocar una mayor tasa de erosión del suelo y la consiguiente pérdida a largo plazo del potencial productivo.

**Brasil**

En la región más vulnerable (el Nordeste), la productividad dependerá de si el aumento de las precipitaciones es suficiente para compensar la mayor evapotranspiración potencial debido a la elevación de la temperatura. Un volumen insuficiente de lluvias produciría una grave disminución del potencial de producción. El aumento de las precipitaciones incrementaría probablemente la productividad de la soja y el maíz en la región centrooccidental y del trigo en la región meridional. Una menor frecuencia de las heladas en el sur disminuiría el riesgo en la producción de cítricos y café.

**Argentina, Chile y región septentrional de los Andes**

Las precipitaciones podrían aumentar en las áreas húmedas actuales y disminuir en las zonas semiáridas situadas a sotavento de los Andes. Un aumento de 2°C a 4°C incrementaría la evapotranspiración al menos en 10% y produciría probablemente la desecación de las pampas. En el clima más marítimo de Chile, el aumento de las lluvias invernales compensaría el pequeño incremento de la evapotranspiración más que en Argentina. La producción de pasto y la cría de ganado serían probablemente las más beneficiadas en las regiones central y meridional. En las grandes alturas de los Andes, donde las temperaturas mínimas en invierno establecen límites a los cultivos, una elevación de 1°C ampliaría los límites en unos 200 metros (3 800 a 4 000 metros en la región central del Ecuador). El aumento de las precipitaciones probablemente se traduciría en una menor producción de cebada pero en una mayor producción de papas.

Fuente: M.L. Parry, G.V. Mendzhulin y S. Sinha (comps.) "Chapter 2. The Potential Impact of Climate Change on Agriculture and Forestry", abril de 1990, versión preliminar.

Posiblemente la utilización del agua en la agricultura se adapte más fácilmente al cambio climático en países que comprenden diferentes zonas climáticas como Argentina, Brasil y Chile. La adaptación resultaría mucho más difícil en países pequeños, como los de Centroamérica, sobre todo los que producen una cantidad limitada de cultivos. Es más, en condiciones de intenso calentamiento de la Tierra y gran incertidumbre en cuanto a la modificación de los climas locales, los países con grandes zonas regadas y control de la escorrentía fluvial tendrían ventajas respecto de las regiones cuya agricultura es principalmente de secano.

a) Consecuencias del cambio climático para el riego

Todo cambio climático causado por el calentamiento debido al efecto invernadero influirá de distintas maneras sobre la magnitud y ubicación de las obras de riego. Sin embargo, el efecto principal sería que cambiaría la cantidad de agua disponible, que constituye el factor que más afecta a las funciones fisiológicas de la vida vegetal. La cantidad de agua disponible es decisiva para el desarrollo, la supervivencia y la productividad de los cultivos. El proceso de transpiración determina la cantidad de agua que necesitan las plantas para su desarrollo (EPA, 1988b). Entre otros factores, la temperatura, la radiación solar, el viento y la humedad del suelo afectan a la transpiración. Esta aumenta con la temperatura del aire, la exposición al sol y el viento de manera que, aun de no producirse cambios en otros factores ambientales, si aumenta, como se prevé, la temperatura del aire superficial, se elevará la necesidad de agua provocada por la evaporación.

Los regantes tienden a utilizar más agua para enfriar las plantas y contrarrestar la alta transpiración. No obstante, este aumento quedaría parcialmente compensado con el correspondiente aumento en la eficiencia con que las plantas utilizan el agua, que suele ser mayor en un ambiente rico en anhídrido carbónico (Rosenberg y otros, 1989). Según algunas estimaciones, si la temperatura aumentara 3°C, se necesitaría 15% más de agua de riego. Si además de ese aumento de la temperatura aumentaran las lluvias en 10%, se necesitaría 7% más de agua de riego. En cambio, si las lluvias disminuyeran en 10%, la necesidad de agua de riego subiría en 26% (Peterson y Keller, en prensa).

Los cultivos de riego podrían necesitar más agua para contrarrestar los efectos de la menor precipitación. En algunas zonas, el aumento de las necesidades máximas de ciertos cultivos exigirían contar con sistemas de riego de mayor capacidad.

En un clima más cálido tienden a aumentar las variaciones de rendimiento de los cultivos; una manera de asegurar que el nivel de rendimiento sea aceptable y constante sería ampliar la superficie de riego (Rosenzweig, 1990; EPA, 1988b). Sin embargo, la demanda de riego aumentaría no sólo debido a mayores necesidades provocadas por la evaporación y los cambios en las precipitaciones, sino también como resultado de una temporada de cultivo más larga, más cultivos múltiples y cambios en los cultivos sembrados.

La agricultura de riego, si bien no es tan susceptible a las fluctuaciones de corto plazo de las lluvias como la agricultura de secano, depende fundamentalmente de que haya agua disponible. Como el riego se practica sobre todo en regiones áridas y semiáridas, donde la demanda se acerca o supera a la oferta, aun los cambios leves en el agua disponible pueden tener consecuencias graves. Según un reciente estudio, si las precipitaciones descendieran 20% y la evapotranspiración aumentara 15%, la superficie de riego se reduciría 75% (Neméc, 1990).

El rendimiento de las tierras de secano es mucho menos seguro que el de las de riego, por eso aun los cambios leves en las precipitaciones pueden perjudicar enormemente a los cultivos de las zonas de secano. Así pues, la disminución de las lluvias o el aumento de su variación sería un incentivo para construir nuevas obras de riego. En zonas en que la temporada de cultivo estival se hace más cálida y seca, más agricultores podrían cambiar de la agricultura de secano a la de riego, lo que aumentaría marcadamente la demanda de agua. Además, si se extendieran las tierras de cultivo sería preciso regar para contrarrestar cualquier reducción de la humedad del suelo provocada por la mayor evapotranspiración (Postel, 1989). La inseguridad respecto del suministro de agua también podría

contribuir a aumentar la demanda de riego, dado que los agricultores consideran que el riego es uno de los principales medios de hacer frente a las incertidumbres del clima (Rosenberg y otros, 1989).

En muchas regiones es posible que se ejerza presión para que se utilice más el riego. Sin embargo, la mayor demanda aumentaría la lucha por los suministros regionales de agua, exigiéndolos más, y exacerbaría la contaminación del agua y otros problemas ambientales. No obstante, los regantes tendrían muchas maneras de adaptarse a los cambios climáticos, por ejemplo, reduciendo el uso del agua, programando el riego para los períodos más cruciales del crecimiento vegetal y cambiando a cultivos que requieran menos agua.

b) Consecuencias de los cambios en las precipitaciones para la utilización del agua en la agricultura

Aun los cambios leves en la cantidad y la distribución estacional de las precipitaciones pueden tener gravísimas consecuencias para los cultivos. Las grandes alteraciones en los regímenes de precipitación, sobre todo en los trópicos semiáridos, pueden llevar a grandes desplazamientos espaciales de las actividades agrícolas o a voluminosas transferencias de agua, en forma temporal o regional (Parry y Carter, 1990). Por ejemplo, en Ecuador, la capacidad agrícola puede variar sustancialmente con una variación de 10% de la precipitación media anual (Bravo y otros, 1988).

En algunas zonas, el cambio climático aumentaría las precipitaciones y la escorrentía, de modo que algunas tierras quedarían en mejores condiciones para la agricultura y otras, de secano y de riego, resultarían beneficiadas con un suministro limitado de agua. En Chile norcentral, por ejemplo, gracias al aumento previsto de las lluvias, se podría realizar actividades agrícolas en zonas que carecen de riego y ampliar la actual superficie regada, debido a la mayor disponibilidad de agua (Aguilera y otros, 1992). Sin embargo, los beneficios de un aumento de las precipitaciones son inciertos. Si lo que ocurre es que hay más inundaciones y tormentas, es probable que gran parte del agua se pierda o resulte perjudicial para los cultivos.

En zonas en que los cambios en las precipitaciones producen menor disponibilidad de agua o en que el clima más cálido aumenta en gran medida las tasas de evapotranspiración, para evitar pérdidas y reducir las necesidades de agua, probablemente los agricultores tendrán que optar por cultivos más resistentes al calor y a la sequía, que necesiten menos humedad. En las latitudes medias altas, una estrategia para evitar las pérdidas debidas a sequías más frecuentes a principios del verano sería sustituir las variedades de cereales de primavera por las de invierno (Parry, Mendzhulin y Sinha, 1990). En zonas de secano, con el aumento que se prevé en las tasas de evapotranspiración y la mayor variación de las precipitaciones, los suelos que tienen gran capacidad de agua disponible serán muy apreciados, lo que constituiría otro incentivo para construir nuevas obras de riego (Parry, Mendzhulin y Sinha, 1990).

El aumento de las precipitaciones podría provocar mayores anegamientos y más altas tasas de erosión. La reducción de la cubierta de nieve y el deshielo temprano también podrían acelerar la erosión. Habría que mejorar el control sobre todo en regiones tropicales donde aumenta la cantidad o intensidad generales de las precipitaciones (Parry, Mendzhulin y Sinha, 1990).

El aumento de las lluvias no provocará de por sí una mayor destrucción del suelo, siempre que no haya cambios de intensidad, pero el aumento de la intensidad o de la frecuencia de las lluvias de gran intensidad causaría mayor erosión (Kwaad, 1989). Nuevamente, es probable que la mayor erosión resulte de particular importancia en las zonas tropicales. La capacidad potencial de las tormentas tropicales de

erosionar el suelo es mayor debido a la mayor energía cinética, si se las compara con las lluvias más suaves de las regiones templadas (Biswas, 1984). La erosión también puede acentuarse en zonas tropicales donde el cambio climático contribuye a que las estaciones secas y húmedas sean más pronunciadas. Los períodos secos más largos causarían una mayor pérdida de la capa superficial del suelo debido a la erosión eólica y debilitarían la cubierta vegetal, lo que exacerbaría la erosión durante la estación de lluvias.

Los anegamientos pueden aumentar en zonas mal drenadas con suelos compactos donde la altura de las precipitaciones sube durante la estación de lluvias. Si no se mejora el sistema de drenaje, resultarían afectados los cultivos, sobre todo los de tierras altas, susceptibles a los anegamientos. El problema de los anegamientos podría ser peor en zonas de litoral bajo.



El aumento de las precipitaciones puede acelerar e intensificar la lixiviación del suelo, lo que exige la aplicación más intensiva de abono. Esta situación puede tener graves repercusiones para la lucha contra la contaminación del agua. En otras zonas, el calentamiento de la Tierra puede reducir la necesidad de usar abono, aumentando la capacidad productiva. Los cambios en el uso del abono también dependerán del efecto que tengan sobre las plantas las mayores concentraciones de anhídrido carbónico y el efecto que tengan sobre el costo del abono cualesquiera cambios en los precios de la energía. Por ejemplo, hay pruebas de que en condiciones de mayor anhídrido carbónico en el ambiente, se puede obtener el mismo rendimiento con la aplicación de menos abono nitrogenado (Parry, Mendzhulin y Sinha, 1990). Por otra parte, hay indicios de que entre las medidas adoptadas para luchar contra las emisiones de gases de efecto invernadero se puede incluir limitar el uso de abonos de nitrato y amonio.

c) Consecuencias del aumento del anhídrido carbónico para los cultivos

Los aumentos del anhídrido carbónico en el ambiente pueden tener consecuencias diversas y significativas para el crecimiento vegetal (véase el cuadro 11). Los experimentos demuestran que el enriquecimiento con anhídrido carbónico es beneficioso para el volumen del rendimiento, la eficiencia del uso del agua y la tolerancia a la salinidad, pero resulta difícil de cuantificar dado que la magnitud del efecto dependería de factores como la humedad disponible, la luz solar, la temperatura y el viento. Así pues, no queda claro si estos beneficios se obtendrán a campo abierto, donde podrían atenuarse con el transcurso del tiempo por una mayor exposición a la radiación ultravioleta, mayores niveles de contaminación atmosférica u otras presiones. El hecho de que una planta reaccione favorablemente a un mayor nivel de anhídrido carbónico no quiere decir necesariamente que aumentará el crecimiento de todas las comunidades vegetales (Bazzaz y Fajer, 1992). Además, cuando se registran bajos niveles de nutrientes, agua y luz, la fertilización con anhídrido carbónico sólo tiene un efecto leve en muchas plantas (Bazzaz y Fajer, 1992).

Cuadro 11

## EFECTOS BIOLÓGICOS DE UN AUMENTO DE ANHIDRIDO CARBÓNICO

| Grupo de plantas <sup>a</sup>                                            | Plantas C <sub>3</sub><br>utilizan una vía fotosintética en que interviene un producto intermedio C-3                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                       | Plantas C <sub>4</sub><br>utilizan la vía química del ácido dicarboxílico C-4 para la fotosíntesis  |                                      |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Ejemplos típicos                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                  | Granos pequeños<br>Cereales de zonas templadas<br>Tubérculos<br>Arboles en general<br>Algunas hierbas |                   | Pastos tropicales<br>Algunas hierbas |
|                                                                          | Alfalfa, banano, cebada, frijoles, cacao, cítricos, coco, café, algodón, pepinos, legumbres, mangos, melones, cebollas, papayas, papas, arroz, caucho, soja, zapallo, té, tomates, trigo                                                                                                                                          |                                                                                                       | Maíz, mijo, sorgo, caña de azúcar                                                                   |                                      |
| Efecto previsto en el rendimiento de los cultivos <sup>b</sup>           | + 10 a 50%<br><br>(responden con un incremento considerable de la tasa de fijación fotosintética del carbono)                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                       | + 0 a 10%<br><br>(la respuesta fotosintética a un aumento del anhídrido carbónico es menos marcada) |                                      |
| Efecto previsto en la eficiencia de la utilización del agua <sup>b</sup> | Se prevé la casi duplicación en la eficiencia de la utilización del agua<br><br>(se estima que este efecto no es muy diferente en término medio entre las especies de ambos grupos)                                                                                                                                               |                                                                                                       |                                                                                                     |                                      |
| Tolerancia a las condiciones adversas                                    | Puede mejorar la tolerancia de las plantas ante condiciones ambientales adversas<br><br>(limitación de nutrientes, déficit de agua, bajas temperaturas, falta de luz, contaminación del aire, suelos poco fértiles, ambientes salinos y contaminados)                                                                             |                                                                                                       |                                                                                                     |                                      |
| Necesidades de insumos                                                   | El alto rendimiento puede depender de la disponibilidad de insumos adecuados<br><br>(se prevé que los efectos benéficos serán particularmente grandes cuando las plantas dispongan de abundantes suministros de nutrientes, luz, agua y otros insumos, es decir, especialmente en ambientes artificiales ordenados por el hombre) |                                                                                                       |                                                                                                     |                                      |

Fuente: CEPAL, con base en diversas fuentes.

Nota: <sup>a</sup> Un tercer grupo de plantas, relativamente menor, realiza la fotosíntesis a través del metabolismo del ácido crasuláceo. En este grupo se incluye la mayor parte de las plantas jugosas del desierto y en gran medida puede descartarse para los fines del presente análisis; las especies de este grupo reaccionan levemente o no muestran respuesta alguna ante mayores concentraciones de anhídrido carbónico.

<sup>b</sup> En caso de una duplicación de la concentración del anhídrido carbónico atmosférico.



Hay pruebas de que el efecto del enriquecimiento con anhídrido carbónico en el crecimiento vegetal depende de la temperatura y hasta podría triplicarse con un aumento de 3°C en la temperatura del aire superficial (Idso y otros, 1987). Si se duplica el anhídrido carbónico, la temperatura óptima para la fotosíntesis aumenta unos 4 a 6°C (Acock y Allen, 1985; Osmond, Bjorkman y Anderson, 1980). Se podría decir entonces que los climas cálidos presentan ventajas, pero la gama óptima de temperaturas para la fotosíntesis resulta menor. En consecuencia, con altos niveles de anhídrido carbónico, la fotosíntesis, y por ende el ritmo de crecimiento, puede tornarse más variables cuanto más cambien las condiciones térmicas (Parry, Mendzhulin y Sinha, 1990). Las diferencias de reacción al aumento de anhídrido carbónico entre los distintos grupos de plantas podrían cambiar el rendimiento relativo de los cultivos y obligar a introducir modificaciones en los sembradíos y, por lo tanto, en las modalidades de riego.

d) Consecuencias de una mayor concentración de anhídrido carbónico para la utilización del agua

La mayor concentración de anhídrido carbónico en el aire que rodea a una hoja produce un descenso en la pérdida de vapor de agua que ésta sufre, lo que reduce la tasa de transpiración (Jacobs, 1990) y aumenta la eficiencia en la utilización del agua para la producción (CIUC/PNUMA/OMM/PMC, 1986). Como las plantas enriquecidas con anhídrido carbónico mantienen una capacidad de retención de agua superior por más tiempo en condiciones de sequía que las plantas que se encuentran en una atmósfera normal, las plantas enriquecidas pueden fotosintetizar más activamente (Rosenberg, 1987). Si se duplican los niveles de anhídrido carbónico, se reduce la transpiración entre una tercera parte y la mitad. En toda una cuenca, este fenómeno podría aumentar sustancialmente las escorrentías (Postel, 1989).

Varios experimentos han demostrado que con un aumento del anhídrido carbónico de 330 a 640 partes por millón, casi se duplica la eficiencia en la utilización del agua (Percy y Bjorkman, 1983). Si aumenta la eficiencia en la utilización del agua en condiciones de enriquecimiento con anhídrido carbónico, puede mejorar la resistencia de los cultivos a la sequía, contrarrestando algunos de los efectos adversos del clima seco (Jacobs, 1990). Sin embargo, no hay seguridad sobre la magnitud de este aumento de la eficiencia en las condiciones naturales del campo.

Prácticamente todos los estudios sobre los efectos de un aumento mundial del anhídrido carbónico atmosférico registran beneficios para el rendimiento de los cultivos y el uso del agua. No obstante, hay indicios de que las temperaturas superiores a los 19°C realzan los efectos positivos del aumento de anhídrido carbónico atmosférico (Idso y otros, 1987). Además, algunos estudios parecen indicar que la reacción al anhídrido carbónico es mayor en condiciones ambientales adversas, lo que podría favorecer la producción en los ambientes salinos y contaminados (Nilsson, 1992).

e) Consecuencias de los cambios de temperatura en la utilización de agua para la agricultura

La temperatura tiene importantes consecuencias para el desarrollo vegetal y la utilización del agua. Si ascendiera la temperatura, las plantas utilizarían más agua, cambiaría la ubicación de los cultivos y, por ende, la ubicación del riego. También habría más posibilidades de deterioro químico del suelo al acelerarse los procesos de salinización y alcalinización.

La reacción de las plantas a los cambios de temperatura difiere según las especies y variedades. Pese a los posibles efectos adversos que ejerce la mayor temperatura mundial sobre la fotosíntesis neta,

se observó una interacción positiva entre el enriquecimiento atmosférico con anhídrido carbónico y la temperatura del aire en el crecimiento de algunas especies vegetales (Idso y otros, 1987). Además, las altas temperaturas favorecen la maduración más rápida de las plantas y acortan el período de formación del grano (Parry, Medzhulin y Sinha, 1990). El hecho de que la temperatura acorte las etapas fenológicas puede perjudicar el crecimiento de los cultivos aun en las zonas que cuentan con agua suficiente (Rosenzweig, 1990). Por lo tanto, el calentamiento puede reducir el rendimiento de las principales zonas de producción actual, dado que las temperaturas altas favorecen la maduración más rápida de las plantas y acortan el período de formación del grano (Parry, Mendzhulin y Sinha, 1990).

Si se prolonga la estación seca o aumenta el nivel de la capa freática, podrían agravarse los problemas de salinización que llevan a una mayor erosión y afectan la calidad del agua. La salinización contribuye en gran medida al aumento de la desertificación (IPCC, 1990a).

Las temperaturas más altas acelerarían la descomposición de la materia orgánica del suelo y la fertilización con anhídrido carbónico podría ayudar a formar residuos vegetales bajo tierra y en la superficie (OMM/PNUMA/IPCC, 1992).

Los cambios de temperatura del aire superficial que se proyectan podrían modificar la ubicación de la agricultura y su infraestructura conexas, lo que ocasionaría importantes trastornos a las economías regionales. Algunos estudios indican que 48% de la superficie terrestre mundial cambiaría de tipo de vegetación (Leemans, 1990). Por ejemplo, es probable que el calentamiento de la Tierra extienda meridionalmente los actuales límites de las tierras de labranza en el hemisferio sur, reduciendo la intensidad del uso en el norte y aumentándola en el sur, dada la cantidad suficiente de suelo y de descanso de las tierras. Todo cambio dependerá también de los regímenes regionales de precipitación, la competitividad de los diferentes cultivos y sus necesidades ambientales. El desplazamiento general hacia los polos que registran las zonas agrícolas será más pronunciado en las latitudes medias y altas (Parry, Mendzhulin y Sinha, 1990). Según las estimaciones disponibles, un calentamiento de 3°C trasladaría zonas de vegetación que se encuentran en latitudes medias del mundo unos 300 kilómetros hacia los polos (Karas, 1991).<sup>12</sup> En las regiones de cultivo de cereales ubicadas en latitudes medias y altas, se podrán registrar desplazamientos horizontales de varios cientos de kilómetros por cada grado de cambio en la temperatura, suponiendo que la tecnología y las limitaciones económicas permanezcan estables (IMI, 1986). En general, la agricultura tenderá a moverse hacia los polos, a condición de que no se vea restringida por la disponibilidad de agua y otras consideraciones ambientales. En América del Sur, como el continente se estrecha rápidamente al sur de los 10°S y la calidad del suelo es deficiente, la tendencia de la agricultura a moverse hacia el polo sería limitada. Las tierras clasificadas "frías" constituyen sólo 3% de la superficie total en América del Sur y algo más de 0% en Centroamérica y el Caribe.<sup>13</sup> El aumento de las lluvias podría agravar este problema al provocar cambios en la base del suelo.

Pueden registrarse menores rendimientos en algunas zonas semiáridas tropicales y subtropicales, donde los cambios en las precipitaciones y la temperatura reducen la disponibilidad de agua para los cultivos (WHO/UNEP/IPCC/ING III, 1990). No obstante, se prevé que los cambios de temperatura sean más pronunciados en las zonas templadas que en los trópicos. En general, es probable que los efectos térmicos sobre la agricultura sean positivos, ya que prolongarán el período de crecimiento potencial de los cultivos y posiblemente también la superficie. Las temperaturas estivales más altas, junto con la nubosidad estable o reducida, tenderían a aumentar el nivel potencial de evapotranspiración y la demanda de agua para los cultivos. En consecuencia, es preciso empezar antes con el riego. En los interiores continentales, las menores precipitaciones estivales y las condiciones previstas más secas serían un factor restrictivo para los cultivos que no reciben riego. Si en las zonas montañosas se registrara un porcentaje

de precipitación mayor que el actual, se reduciría la cantidad de agua almacenada en la cubierta de nieve, lo que mermaría las reservas de agua en la primavera y el verano (Choisnel, 1992).

Las temperaturas invernales aumentarían apreciablemente en las zonas de alta latitud. El efecto térmico podría desplazar el desarrollo de cultivos hacia el sur y prolongar la temporada de cultivo. El aumento de las precipitaciones invernales beneficiaría a zonas con suelos profundos y gran capacidad de retención de agua en otoño e invierno, pero el exceso de lluvia podría resultar perjudicial para la agricultura (Choisnel, 1992). Asimismo, con los aumentos de temperatura en las zonas montañosas se extendería la superficie apta para el desarrollo agrícola, incluido el riego, al elevarse los límites de altitud para la producción de cultivos. Se estima que los desplazamientos ascendentes ampliarán considerablemente la superficie de labranza en ambientes montañosos de latitudes medias altas (Parry, Mendzhulin y Sinha, 1990). Por ejemplo, en los altos niveles de los Andes, donde la temperatura mínima invernal restringe el cultivo, el aumento de 1°C elevaría los límites unos 200 metros (3 800 a 4 000 metros en Ecuador central) (Bravo y otros, 1988).

f) Cambios en la distribución de plagas y enfermedades agrícolas

La extensión hacia el sur del ámbito de algunas plagas y enfermedades agrícolas o la introducción de plagas nuevas debida al ascenso de la temperatura y los cambios en las precipitaciones, la humedad del suelo y la luz solar pueden afectar adversamente la agricultura de riego. Se estima que los cambios serán más pronunciados cuanto mayor sea la latitud. La susceptibilidad a los agentes patógenos vegetales también puede aumentar con la mayor radiación ultravioleta.<sup>14</sup>

Aun en casos en que el clima más cálido no amplíe el ámbito geográfico de las enfermedades y plagas agrícolas, el ascenso de la temperatura puede contribuir a que las que ya existen aparezcan antes, aumenten sus densidades de población, sobrevivan mejor el invierno y produzcan dos generaciones cada temporada en lugar de una.

El clima más cálido también favorecería la proliferación de plantas acuáticas en los sistemas y embalses de riego, lo que aumentaría los gastos de mantenimiento. Esta proliferación puede provocar pérdidas por evaporación considerablemente mayores, dado que dichas hierbas poseen un potencial de evaporación varias veces superior al de las aguas abiertas (Sagardoy, Bottrall y Vittenbogaard, 1982). Además de aumentar estas pérdidas, las plantas impiden que el agua fluya libremente, lo que obliga a liberar más agua para asegurar que haya suficiente. Las plantas también tienden a aumentar la incidencia de enfermedades vinculadas con el agua, ya que constituyen un ambiente favorable para vectores y huéspedes, pueden interferir en la operación y el mantenimiento de estaciones de bombeo y de generación hidroeléctrica y pueden perjudicar a los peces (Biswas, 1984).

Por último, cualquier cambio en la distribución de plagas y enfermedades agrícolas tiende a favorecer el uso de productos químicos, lo que elevaría los costos de producción, y reduciría los incentivos para construir nuevas obras de riego y agravaría los problemas de la contaminación del agua.

## 2. Elevación del nivel del mar y utilización de agua para la agricultura

Si se eleva el nivel del mar, la inundación y erosión consiguiente de las tierras costeras podría afectar la utilización del agua para la agricultura, ya que dichas tierras quedarían inutilizadas para ese fin. Un ascensor de nivel también podría provocar mayores inundaciones periódicas debidas a mareas altísimas, olas huracanadas o como resultado de la perturbación de los regímenes fluviales, y podría aumentar la salinidad del agua de las zonas costeras y acuíferos y contaminar los suelos.

En el mundo entero, la superficie que podría resultar inundada, afectada o deteriorada indirectamente, o que podría ser vulnerable a la intrusión de agua salada es de aproximadamente 5 millones de kilómetros cuadrados (Wind, 1987). En América Latina y el Caribe, entre las zonas más vulnerables a las pérdidas agrícolas se incluyen los sectores de la pampa argentina que dan al estuario del Río de la Plata, partes de la costa y el delta del Amazonas en Brasil y las regiones costeras de Suriname y Venezuela (Parry, Mendzhulin y Sinha, 1990). Otras zonas que apenas sobrepasan el nivel del mar también podrían perder tierras de labranza.

La intrusión de agua salada contamina las aguas superficiales y subterráneas aumentando la salinidad y volviéndolas no aptas para el abastecimiento agrícola. La tolerancia a la salinidad varía según las especies y variedades de cultivos, pero en general, el desarrollo y rendimiento de la mayoría de las plantas desmejoran con los altos niveles de salinidad. Algunos estudios indican que el enriquecimiento con anhídrido carbónico puede contribuir a la mayor tolerancia de los cultivos a la salinidad (Jacobs, 1990).

## 3. Utilización del agua para la agricultura y agotamiento de la capa de ozono estratosférico

El agotamiento de la capa de ozono estratosférico podría afectar la utilización del agua para la agricultura debido al aumento de la exposición de las plantas a la radiación ultravioleta y por sus efectos en la mayor formación de ozono troposférico.

La exposición prolongada a la radiación ultravioleta causa cierta inhibición del crecimiento vegetal y la fotosíntesis, pero cada especie registra distinta sensibilidad. En una prueba de tolerancia, de unos 300 cultivos y otras especies vegetales, dos tercios resultaron sensibles a los rayos ultravioleta (PNUMA, 1989b).<sup>15</sup>

El efecto perjudicial que tiene la contaminación atmosférica fotoquímica, especialmente el ozono, sobre la vegetación fue observado inicialmente en la región de Los Angeles, California, en 1944 (Kopp y otros, 1985). Además de las zonas urbanas altamente contaminadas, el riesgo de daño a la vegetación debido al ozono puede elevarse en los trópicos durante la estación seca, en que las concentraciones de ozono ya son altas por la quema de biomasa. Las razones de mezcla del volumen del ozono de más de 40 partes por mil millones ya son frecuentes durante la estación seca y constituyen valores similares a los que se registran en regiones industrializadas contaminadas. El riesgo puede ser aún mayor en zonas montañosas, con la posibilidad de que la concentración de ozono sobrepase las 70 partes por mil millones (Crutzen y Andreae, 1990).

## B. OTROS USOS CONSUNTIVOS DEL AGUA

Los demás usos consuntivos del agua son mucho menos importantes que para la agricultura. El suministro público de agua es el uso más generalizado, pero las extracciones son relativamente reducidas. En 1980, las extracciones de agua para uso doméstico y municipal y para la industria y la producción de energía en América del Sur ascendieron, respectivamente, a 11% del total.<sup>16</sup>

Probablemente el cambio climático mundial tenga repercusiones directas despreciables sobre el uso industrial del agua, ya que la mayoría de las actividades industriales no dependen del clima. En los casos en que la temperatura y la humedad son determinantes, a menudo se recurre a la calefacción, la deshumidificación y la climatización del aire. Indirectamente, los cambios en la disponibilidad y ubicación de las materias primas pueden afectar el uso industrial del agua, como en las industrias de elaboración del pescado y de productos forestales. La reacción general al calentamiento de la Tierra podría ser el desplazamiento hacia el sur.

El suministro público de agua y los servicios de alcantarillado figurarían entre los usos del agua más sensibles al cambio climático. Suponiendo que los patrones de comportamiento no se ajusten, la demanda de agua en los sistemas públicos aumentaría con un clima más cálido. En las zonas urbanas y suburbanas, habitualmente la utilización del agua al aire libre aumenta en los veranos más cálidos (Rosenberg y otros, 1989). Algunos estudios indican que el calentamiento, en especial las olas de calor más largas y agobiantes, aumentaría en principio la demanda de agua, sobre todo en regiones normalmente secas (Schwarz y Lee, 1990).

El cambio climático podría afectar la calidad de las aguas superficiales y subterráneas y la incidencia de las enfermedades de origen hídrico. Si cambia la calidad del agua, si aumenta su temperatura y se reduce el caudal, sería preciso adoptar normas más estrictas de tratamiento de efluentes para mantener la calidad del agua.

La utilización industrial, residencial y municipal del agua sería especialmente susceptible al cambio climático en las zonas interiores, debido a la mayor demanda y la oferta reducida. Los cambios en la frecuencia y estacionalidad de los extremos de las escorrentías podrían alterar el funcionamiento de los embalses, lo que mermaría el rendimiento en condiciones seguras y exigiría la aplicación de nuevas reglas de operación.

Debido a la intrusión de agua salada en acuíferos y al mayor movimiento del agua salada contra la corriente de estuarios o bahías, muchas fuentes de agua quedarían inutilizadas por su alta salinidad, la que aceleraría la corrosión de los sistemas de distribución. Además, las instalaciones ubicadas en las zonas de litoral bajo podrían resultar perjudicadas por cualquier aumento de las inundaciones y de las mareas altas.

La mitad de los sistemas de suministro público de agua de América Latina y el Caribe depende de la capa freática (OPS/OMS/Programa de Salud Ambiental, 1992). Muchas grandes ciudades, entre ellas Buenos Aires, Lima y São Paulo, utilizan pozos situados en toda la red de distribución (OPS, 1990). La capa freática también es importante para el abastecimiento de muchas islas del Caribe, por ejemplo, Barbados, que depende totalmente de ella (Foster, Ventura e Hirata, 1987).

### C. POSIBLES EFECTOS DE LAS POLITICAS DE CONTROL

Las políticas encaminadas a limitar las emisiones de gases de efecto invernadero podrían tener repercusiones directas e indirectas sobre la utilización del agua. Las políticas destinadas a limitar las emisiones de anhídrido carbónico podrían elevar el precio de la energía, cambiar la demanda de productos industriales, afectar el cultivo de arroz y limitar el uso de abonos de nitrato y amonio.

Por ejemplo, los arrozales anegados producen metano debido a la descomposición anaeróbica de la materia orgánica de los residuos de los cultivos y los abonos. Se estima que ellas contribuyen con un 27% de las emisiones antropogénicas de metano y que los niveles actuales pueden subir de 50 a 60% para el año 2025 (WRI, 1990). No obstante, en América Latina y el Caribe sólo hay 6.7 millones de hectáreas de arrozales, es decir, 4.

5% del total mundial (FAO, 1992). Los conocimientos actuales sobre la compleja interacción entre la producción de metano y la oxidación, indican que se podría lograr a largo plazo una reducción del 10 al 30% de las emisiones de metano si se adoptara un enfoque integral que incluyera la ordenación de los regímenes de agua, el mejoramiento de las plantas, el uso más eficiente de los abonos y otras prácticas de ordenación (OMM/PNUMA/IPCC/WGIII, 1990c). Sin embargo, con los conocimientos actuales, hay pocas opciones tecnológicas para reducir las emisiones de metano manteniendo la producción.

La adición de abonos de nitrato y amonio a los suelos aumenta las emisiones de óxido nitroso, otro gas de efecto invernadero. En los últimos años, el consumo de abonos nitrogenados en América Latina y el Caribe ha ascendido a algo más de 3.8 millones de toneladas (N) al año (FAO, 1991a).<sup>17</sup> La velocidad de emisión del óxido nitroso depende de muchos factores, entre ellos el tipo de abono, la cantidad y forma de aplicación, el tipo de suelo, la temperatura y humedad del suelo, las precipitaciones y las prácticas agrícolas. Para 2025, si no se producen cambios en la tecnología, la emisión de óxido nitroso derivado de los abonos podría aumentar un 50% (OMM/PNUMA/IPCC, 1992).

No es probable que el calentamiento de la Tierra tenga efectos significativos directos en la minería, pero podría afectarla indirectamente mediante las políticas destinadas a limitar las emisiones de anhídrido carbónico de combustibles fósiles. Las consecuencias podrían ser una menor utilización de agua en la extracción de combustibles fósiles, especialmente petróleo y otros combustibles ricos en carbono, y posiblemente una mayor demanda de agua para la producción de combustibles fósiles con menos contenido de carbono, como el gas natural y el uranio.

Las políticas públicas destinadas a limitar las emisiones de gases de efecto invernadero también podrían afectar la utilización del agua en la industria manufacturera. Si aumenta el costo de la energía, la producción puede bajar en industrias que la usan en forma relativamente intensiva, por ejemplo, las industrias del acero, la arcilla, el caucho, el plástico, y otras industrias químicas. Los programas de control podrían afectar gravemente a la industria del cemento, importante fuente de emisiones de anhídrido carbónico. La utilización del agua en estas industrias podría reducirse con una baja en la producción. Las industrias que utilizan menos energía, como las de alimentos, fibras y otras industrias de elaboración agrícola, podrían expandirse dados los menores precios relativos y el consiguiente aumento en la utilización del agua.

## Capítulo IV

### USO NO CONSUNTIVO DEL AGUA Y CAMBIO CLIMATICO

#### A. CONTAMINACION Y CALIDAD DEL AGUA

Las mayores temperaturas del agua y los menores caudales tenderán a agravar los problemas de contaminación de este elemento y obligarán a adoptar normas más estrictas de tratamiento de aguas residuales para mantener los niveles de calidad (véase el cuadro 12). El cambio climático provocado por el efecto invernadero también afectará la calidad del agua subterránea. Si bien en algunas zonas el cambio climático podría exacerbar los actuales problemas de contaminación de agua y crear nuevos, en casos en que aumenten los caudales quizá mejore la calidad, ya que cuanto más agua haya, más posibilidades de diluir los contaminantes.

Los cambios climáticos podrían tener efectos importantes sobre los cursos de agua, sobre todo en caudales mínimos. En las regiones de menor precipitación o en que el aumento no es suficiente para contrarrestar las mayores tasas de evapotranspiración, se registrará sin duda un deterioro. También bajará la calidad del agua cuando aumentan las precipitaciones si los períodos de lluvia vuelven al invierno y la primavera, dejando las condiciones secas para fin del verano, cuando suelen registrarse los caudales bajos (Jacoby, 1990). Los caudales bajos son de especial importancia en muchas partes de América Latina y el Caribe, ya que prácticamente todos los desechos humanos e industriales se vierten sin tratamiento previo, y gran parte de la población no tiene acceso al agua potable.

Los aumentos de la temperatura del agua también pueden afectar la calidad, dado que el oxígeno disuelto disminuye a medida que aumenta la temperatura. El ritmo de los procesos biológicos también se aceleraría con la temperatura, lo que elevaría la demanda de oxígeno bioquímico. El resultado final de estos dos efectos podría ser una reducción considerable del nivel de oxígeno disuelto (Biswas, 1984).

El ascenso de la temperatura superficial y la reducción de los caudales pueden tener consecuencias graves para la calidad del agua de los lagos. En algunos lagos, el calentamiento de la Tierra podría provocar la proliferación de algas que, junto con la mayor estratificación térmica, degradaría la calidad del agua (EPA, 1988b).

El cambio climático y el enriquecimiento de anhídrido carbónico causarían indirectamente una mayor contaminación del agua por la escorrentía agrícola como resultado de la migración hacia el sur de la agricultura hacia zonas en que actualmente no se emplean productos químicos y debido a la mayor aplicación de abonos y otras sustancias químicas para contrarrestar las condiciones climáticas anómalas. Quizá sea necesario aplicar intensivamente abonos para obtener todos los beneficios del enriquecimiento

con anhídrido carbónico a medida que las plantas aumentan su tamaño y utilizar más herbicidas para luchar contra la maleza (Jacobs, 1990).

Cuadro 12

## CAMBIO CLIMATICO Y CALIDAD DEL AGUA

| Contaminante             | Cambio en caudal bajo | Aumento de temperatura | Mayor corriente pluvial |
|--------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|
| Oxígeno disuelto         | ★                     | ★                      | ★                       |
| Sedimentos en suspensión | ★                     |                        | ★                       |
| Coliformes fecales       | ★                     |                        | ★                       |
| Acidez                   | ★                     |                        |                         |
| Nitrógeno                | ★                     |                        | ★                       |
| Fósforo                  | ★                     |                        | ★                       |
| Salinidad                | ★                     |                        |                         |
| Prod. químicos tóxicos   | ★                     |                        |                         |

*Fuente:* Henry D. Jacoby, "Water Quality", *Climate Change and U.S. Water Resources*, Paul E. Waggoner (comp.), Nueva York, John Wiley & Sons, 1990.

Las lluvias más intensas y la consiguiente escorrentía rápida podrían acelerar el ritmo de erosión de suelos y riberas y provocar la lixiviación de los nutrientes del suelo. El aumento de las aguas pluviales, al sumarse a las aguas cloacales de la red de alcantarillado, puede causar una sobrecarga hidráulica y el consiguiente agravamiento de antiguos problemas de contaminación. Como gran parte de la región está situada en zonas tropicales y subtropicales caracterizadas por abundantes lluvias, la cantidad de escorrentía de aguas lluvia procedente de las zonas urbanizadas ya es significativa.

Las precipitaciones tienden a absorber ciertos contaminantes atmosféricos y a llevarlos directa o indirectamente, por escorrentía o infiltración, a las masas de agua. A mayor temperatura, más concentración atmosférica de peróxido de hidrógeno, lo que contribuye a una mayor conversión del azufre atmosférico en ácido sulfúrico y mayor lluvia ácida (Cline, 1992c). Las altas temperaturas también aceleran la formación de material ácido y la reducción del ozono estratosférico favorecerá la presencia de más radiación ultravioleta para desencadenar reacciones químicas. No obstante, las mayores precipitaciones pueden diluir el impacto de la lluvia ácida (EPA, 1988b). La lluvia ácida no está tan generalizada en América Latina y el Caribe como en otras partes del mundo, aunque Brasil puede resultar



vulnerable debido a que tiene zonas de suelos naturalmente ácidos, como en la Cuenca del Amazonas (Hurtado, 1985).

El movimiento del aire dispersa los contaminantes y los diluye rápidamente a medida que aumenta la distancia del punto de origen (Landsberg, 1976). Cuanto menos viento en condiciones de calentamiento debido al efecto invernadero, menor será la dispersión, lo que aumentará la contaminación atmosférica en el punto de origen pero la reducirá a sotavento. La reducción de la nubosidad y el aumento de la temperatura podrían favorecer la formación de inversiones térmicas en zonas urbanas, aumentando la frecuencia y la intensidad de graves fenómenos de contaminación atmosférica.

## B. ENFERMEDADES VINCULADAS CON EL AGUA

La temperatura y las precipitaciones afectan a la distribución y abundancia de vectores de muchas enfermedades vinculadas con el agua, incluidos la fiebre amarilla y el dengue, el paludismo, la anquilostomiasis y la esquistosomiasis. En consecuencia, todo cambio en la temperatura y la precipitación medias alterará la distribución temporal y espacial de estas enfermedades. Los cambios climáticos podrían provocar una mayor incidencia de enfermedades vinculadas con el agua. Los cambios en la distribución de marismas, sobre todo marismas estacionales de regiones cálidas, que constituyen un hábitat para la gestación y crecimiento de vectores, también alterarán la distribución temporal y espacial de las enfermedades vinculadas con el agua. La mayor radiación ultravioleta también puede contribuir al aumento de la incidencia y gravedad de las enfermedades infecciosas, mediante la supresión de la respuesta inmunitaria.

Las condiciones del clima y el agua influyen poderosamente en la abundancia de insectos transmisores de enfermedades. Además, las infecciones relacionadas con la contaminación del agua y los alimentos, también revelan una periodicidad estacional en climas templados, cuya mayor incidencia se registra en la estación cálida (Bruce, 1987). Si las temperaturas medias aumentaran en las zonas más frías, mejorarían las condiciones de supervivencia de insectos vectores, moluscos y otros y de microorganismos y parásitos patógenos. Los límites de latitud y altitud de los agentes patógenos que transmiten las enfermedades por el agua también aumentarían, aunque el agotamiento del ozono estratosférico podría impedirlo, ya que los microorganismos son sensibles a la radiación ultravioleta (Weihe, 1990). Por ejemplo, el clima y la vegetación afectan íntimamente a la distribución de las especies de mosquitos que son importantes para la transmisión del paludismo. Las temperaturas de 30°C son óptimas para la reproducción y se necesitan abundantes lluvias para la formación de aguas superficiales estancadas, esenciales para la supervivencia de las larvas (Landsberg, 1984). Los cambios climáticos que produjeran más días de 16°C a 35°C de temperatura, con niveles de humedad entre 25 y 60%, favorecerían la reproducción de los mosquitos (White y Hertz-Picciotto, 1985).

El ascenso de la temperatura puede contribuir a la propagación de enfermedades tropicales en el Caribe.<sup>18</sup> Algunos científicos también temen que el aumento de la temperatura superficial podría elevar el riesgo de propagación de enfermedades causadas por parásitos, como la ascariasis y el mal de Chagas, comunes en Centro y Sudamérica (Dobson, 1988).

### C. GENERACION DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Normalmente las estaciones de energía hidroeléctrica funcionan al máximo de su capacidad, siempre que haya suficiente agua, dado que el costo marginal de cada kilowatt producido se acerca a cero. Eso significa que su funcionamiento se ve afectado por cualquier reducción del promedio anual de lluvias y aumento de la variación y la frecuencia de las sequías. Los proyectos hidroeléctricos con capacidad de almacenamiento limitada también son vulnerables a la estacionalidad muy pronunciada de los caudales (Miller, 1990).

La generación de energía hidroeléctrica puede resultar más susceptible que otros usos del agua a los cambios de suministro debido a que las turbinas generadoras de energía funcionan con un margen de variación de nivel menor que la mayoría de los sistemas de suministro de agua sin depurar (Riebsame, 1989). En casos extremos, algunas instalaciones hidroeléctricas podrían resultar hasta obsoletas a consecuencia de los cambios en el volumen de agua disponible por el calentamiento debido al efecto invernadero.

Si un país depende sobremanera de la energía hidroeléctrica, resultará particularmente vulnerable a la sequía. En casos en que gran parte de la capacidad generadora de energía se concentra en unos pocos ríos, toda reducción de los caudales puede afectar desmesuradamente la producción. Por otra parte, los países que tienen gran capacidad instalada están en buenas condiciones de aprovechar cualquier aumento del suministro de agua. Sin embargo, si los cambios climáticos aumentan las precipitaciones, la mayor sedimentación podría afectar a la generación de energía hidroeléctrica aguas abajo.

Las políticas intervencionistas destinadas a limitar las emisiones de anhídrido carbónico pueden tener profundas repercusiones en la estructura de la inversión energética. Estas políticas podrían proporcionar un gran incentivo para el desarrollo de fuentes de energía renovables hidroeléctricas, geotérmicas y de otra índole (véase el cuadro 13). América Latina y el Caribe tiene un potencial hidroeléctrico económicamente explotable de unos 805 792 megawatts, aunque en 1989 se utilizó menos del 11% (Naciones Unidas, 1991b).

El calentamiento de la Tierra podría cambiar la modalidad de la demanda de electricidad y, por ende, de los requisitos de la capacidad generadora. En un clima más cálido se reduciría la demanda de energía para calefacción, pero aumentaría la demanda para la climatización y la refrigeración. Seguramente los requisitos adicionales de electricidad serán modestos. Las necesidades de electricidad adicionales estimadas para los países en desarrollo debido al calentamiento de la Tierra equivalen a menos del 10% (IPCC, 1990b). Sin embargo, no hay duda de que el posible cambio climático producirá más incertidumbre en la planificación energética.

### D. TRANSPORTE POR AGUAS INTERIORES

Los cambios en el nivel del agua y la mayor sedimentación en los ríos y lagos navegables, debidos a la alteración de los regímenes hidrológicos y de evaporación, afectarían al transporte por aguas interiores. El nivel del agua también puede descender como resultado de cambios en las políticas de descarga de los embalses a causa de la alteración de los regímenes pluviales y de deshielo de las nieves. En algunas masas de agua navegables, los estudios realizados sobre los efectos del calentamiento de la Tierra revelan que

el nivel del agua puede descender hasta 2.5 metros (IPCC, 1990a). Evidentemente, dichos cambios pueden tener consecuencias graves en la navegación de ríos y lagos y también pueden causar daños a las estructuras portuarias de madera, como muelles y dársenas.

Cuadro 13

TONELADAS DE ANHIDRIDO CARBONICO EMITIDAS POR MILLON  
DE KILOVATIOS HORA SEGUN LAS DISTINTAS TECNOLOGIAS  
DE GENERACION DE ELECTRICIDAD

| Tecnología                | Etapa de producción de la energía |              |           |        |
|---------------------------|-----------------------------------|--------------|-----------|--------|
|                           | Extracción de combustible         | Construcción | Operación | Total  |
| Grandes hidrocentrales    | -                                 | 3.1          | -         | 3.1    |
| Pequeñas hidrocentrales   | -                                 | 10.0         | -         | 10.0   |
| Centrales geotérmicas     | 0.3                               | 1.0          | 55.5      | 56.8   |
| Carbón convencional       | 1.0                               | 1.0          | 962.0     | 964.0  |
| Petróleo                  | -                                 | -            | 726.2     | 726.2  |
| Gas                       | -                                 | -            | 484.0     | 484.0  |
| Reactor de agua hirviendo | 1.5                               | 1.0          | 5.3       | 27.8   |
| Energía eólica            | -                                 | 7.4          | -         | 7.4    |
| Energía fotovoltaica      | -                                 | 5.4          | -         | 5.4    |
| Energía termosolar        | -                                 | 3.6          | -         | 3.6    |
| Leña (cosecha sostenible) | -1 509.1                          | 2.9          | 1 346.3   | -159.9 |

*Fuente:* R.L. San Martín "IEA/OECD Experts Seminar on Energy Technologies for Reducing Emissions of Greenhouse Gases", Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), París, citado en Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos/Organismo Internacional de Energía (OCDE/IEA), *Greenhouse Gas Emissions. The Energy Dimension*, París, 1991.

Las crecidas más frecuentes e intensas también podrían afectar a la navegación fluvial. El aumento del nivel del mar alteraría la modalidad de sedimentación en la costa y en los estuarios. La mayor sedimentación aumentaría considerablemente los gastos de dragado en vías navegables y puertos, y el ascenso del nivel del mar podría alterar la dinámica del agua en zonas costeras, lo que haría peligrar el funcionamiento de los puertos. Todo cambio en el nivel del mar también podría causar daños a la infraestructura portuaria, que tendría que adaptarse a fin de seguir funcionando al mismo ritmo. Si sube el nivel del mar, podría intensificarse la erosión en la costa, lo que exigiría la estabilización de las ensenadas de mareas y los canales que se utilizan para la navegación, aunque también podría beneficiar al transporte acuático, al aumentar el calado permitido en zonas someras (IPCC, 1990a).

Por último, toda política reguladora y tributaria destinada a limitar las emisiones de gases de efecto invernadero que aumentara los costos de los combustibles podría afectar al transporte acuático y cambiar su posición competitiva frente a otras formas de transporte.

## E. PESQUERIA

### 1. Pesca

El aumento del nivel del mar y de la temperatura, junto con los cambios en las precipitaciones y la radiación ultravioleta, podría tener serias consecuencias para los ecosistemas marinos, incluidos la redistribución y cambios en la producción biótica (OMM/PNUMA/IPCC, 1992). Principalmente, los ecosistemas de agua dulce sufrirían los cambios de temperatura, precipitaciones y escorrentías, pero también se verían afectados por la mayor exposición a la radiación ultravioleta. Los cambios en la calidad del agua afectarían a las pesquerías costeras y de aguas interiores.

Según evaluaciones recientes, el cambio climático previsto puede ser uno de los factores más importantes que afecten a las pesquerías ahora y en los próximos siglos (Street, Semenov y Magadza, 1992). El calentamiento debido al efecto invernadero podría influir en las pesquerías oceánicas y de aguas interiores, pero sus efectos no serían uniformes. La población de peces puede aumentar en ciertas zonas y disminuir en otras.

El aumento moderado de la temperatura media del agua podría favorecer la productividad piscícola y mejorar su rendimiento. Por otra parte, muchos organismos acuáticos son muy sensibles a la temperatura del agua y pueden migrar o bien adaptarse a las temperaturas más altas. Como los peces se mueven con facilidad, adaptándose rápidamente a los cambios en el ambiente, las repercusiones de los cambios de temperatura serían inmediatas. Se podrían registrar variaciones extremas en forma local, aun cuando la biomasa total no cambiara ostensiblemente (Bolin, 1980). Cualquier aumento en la temperatura del agua podría causar cambios importantes en la distribución y la gama de especies, con graves consecuencias para la industria pesquera.

Los cambios en los extremos de temperatura pueden afectar la productividad pesquera. Aún los cambios leves en las temperaturas medias pueden alterar sensiblemente la frecuencia de las "ráfagas" cálidas o frías, y ambas pueden ser devastadoras. Los efectos de las "ráfagas" cálidas son especialmente dañinos durante las etapas iniciales de crecimiento (Tsyban, Everett y Perdomo, 1992).

Los efectos secundarios del cambio climático mundial y del aumento del nivel del mar, como la mayor salinidad de los estuarios, podrían neutralizar los beneficios que reportarían a los peces de aguas más cálidas (Hashimoto, Styrikovich y Nishioka, 1990).

El calentamiento de la Tierra no afectará uniformemente a la pesca de aguas interiores. La población de peces puede aumentar en algunas zonas y disminuir en otras, y las presiones adicionales que deberán soportar los ecosistemas de agua dulce podrían reducir la cantidad de especies y la diversidad genética de las poblaciones a corto plazo (OMM/PNUMA/IPCC, 1992). Quizá sean más beneficiosos los efectos a mediano y largo plazo, al menos en algunas regiones.

Las temperaturas más altas aumentarían la cantidad de plancton y otros nutrientes y en las masas de agua, que ya son ricas en nutrientes, el mayor crecimiento acuático podría contribuir a la proliferación de algas y al agotamiento del oxígeno. El menor intercambio de las aguas de los lagos podría agotar los niveles de oxígeno en zonas someras y hacerlas menos habitables para los peces (EPA, 1989).

Los cambios de temperatura del agua serían relativamente mayores en ríos, arroyos, lagos pequeños y lagunas que en masas de agua más grandes. Los efectos de las altas temperaturas en la productividad piscícola serían especialmente benéficos en las masas de agua cuya temperatura actual constituye un factor restrictivo. Las aguas más cálidas también podrían cambiar la composición de la población de peces a medida que las especies de aguas cálidas amplían su variedad, mientras que disminuye la cantidad de especies de aguas frías (Cooper, 1990). Los peces que habitan en grandes masas de agua resultarían beneficiados por la mayor cantidad de nutrientes o emigrarían a hábitats nuevos y más adecuados, pero los que viven en ríos y lagos menores no siempre están en condiciones de escapar de las temperaturas que exceden su tolerancia, y en casos extremos sus habitantes bien pueden desaparecer.

El cambio climático puede alterar la región o el espacio habitable de que disponen los peces. En las zonas en que un clima más cálido produce condiciones más secas y bajas en la escorrentía, podría disminuir la cantidad de agua de ríos y lagos, lo que limitaría el espacio de habitación y reproducción de las poblaciones de peces (Riebsame, 1989). En algunas zonas los peces de río se alimentan y reproducen en terrenos inundados (Riebsame, 1989). Los cambios en los niveles fluviales que reduzcan las inundaciones en las llanuras aluviales podrían afectar a las poblaciones de peces.

Los aumentos en la erosión, el limo y la sedimentación pueden tener serias consecuencias para las pesquerías aguas abajo. La turbiedad afecta en gran medida a los peces, sobre todo a los crustáceos, ya que interfiere en las funciones de las agallas. También obstruye la penetración de la luz y causa en muchas especies una reacción de evasión (Kitching, 1982). Las larvas de todos los animales acuáticos sufren muchísimo y la materia en suspensión también puede perjudicar las zonas de desove.

En América Latina y el Caribe no hay información sobre los posibles efectos que tendría el calentamiento de la Tierra en la productividad de las pesquerías de aguas interiores. En la latitud de los Grandes Lagos de Norteamérica, un calentamiento de 2°C podría aumentar un 26% el rendimiento sostenido global de especies comercialmente valiosas, aunque los volúmenes de captura de algunas especies pueden bajar (Meisner y otros, 1987).

En el curso de la historia las sociedades se han adaptado con dificultad a los cambios en la productividad biológica, independientemente de la causa (Glantz y Krentz, 1987). El análisis de los efectos que han tenido los cambios climáticos en la productividad piscícola indica que la mala ordenación puede provocar un desastre en las pesquerías. A medida que se han reducido las poblaciones de peces,

el problema se ha agravado, ya que la industria continúa con la pesca intensiva, acelerando así el desastre. La experiencia demuestra que con frecuencia las industrias y las autoridades no han estado dispuestas a tomar medidas decisivas para proteger las poblaciones de peces (Tsyban y Titus, 1990).

## 2. Ecosistemas costeros

Las marismas desempeñan un papel esencial en la ecología y economía de las zonas costeras y su productividad biológica puede igualar o superar a la de cualquier otro sistema natural o agrícola (IPCC, 1990a). Son fundamentales para el bienestar de muchas especies de peces y crustáceos. Más de dos tercios de los peces que se destinan al consumo humano dependen de los pantanos y marjales costeros durante parte de sus ciclos vitales (Tsyban y Titus, 1990). Las marismas también sirven de sumideros de contaminantes y brindan cierta protección contra las inundaciones, las tormentas y las mareas altas (IPCC, 1990a).

En general, las marismas ocupan las zonas que se encuentran entre la marea más alta del año y el nivel medio del mar (EPA, 1988b). A un ritmo lento de aumento del nivel del mar, las marismas juntan sedimento y producen turba sobre la que se forman. De esta manera se acumulan verticalmente y se expanden hacia el interior cuando las zonas de tierras bajas adyacentes se inundan al subir el nivel del mar (EPA, 1988b). Contrariamente a la mayoría de tierra firme, las marismas costeras se han mantenido a la par de los aumentos del nivel del mar y la zona de marismas de intermareas ha aumentado varias veces en los últimos milenios (Tsyban y Titus, 1990). Si el ritmo del aumento del nivel del mar supera la capacidad de las marismas de mantenerse a la par, podría reducirse su extensión. Si el nivel del mar subiera rápidamente, podría bajar la productividad de los ecosistemas costeros, pero seguramente habrá decenios en que la productividad sobre la base de las marismas aumente antes de disminuir, a medida que el nivel del mar comience a estabilizarse y, a largo plazo, probablemente las consecuencias sobre las pesquerías sean negativas (IPCC, 1990; Tysban y Titus, 1990).

Los arrecifes de coral son ecosistemas de aguas someras que representan un conjunto de muchos tipos de plantas y animales, entre los cuales los corales son uno de los principales componentes. Tienen un ritmo muy alto de productividad y constituyen un importante lugar de reproducción y criadero de muchos organismos marinos. Actúan como amortiguadores contra la erosión marina y revisten importancia para el turismo.

Los arrecifes de coral normalmente medran entre los 25°C y 29°C, según su ubicación. Esta última cifra se halla muy cerca de su máximo letal: el aumento de uno o dos grados por encima del máximo normal del verano puede ser fatal (Brown y Ogden, 1993). No obstante, algunos científicos estiman que el calentamiento de 1°C a 3°C del agua que rodea a los corales casi no los afectaría sino que los estimularía para que se desarrollaran mejor hacia sus márgenes actuales de distribución (Bardach, 1988). Los organismos coralíferos crecen de 1 a 20 cm al año y se sabe que las tasas de crecimiento de los arrecifes en su conjunto son de hasta 1.5 cm al año. No todos los arrecifes se acumulan a este ritmo, pero la mayoría se mantendrá a la par del aumento del nivel del mar, siempre que no haya otros factores que alteren las condiciones de crecimiento (OMM/PNUMA/IPCC, 1992).

Los corales sufren el descoloramiento, fenómeno que ocurre cuando expulsan las algas que residen dentro de sus células, volviéndose así totalmente blancos. Cuando el descoloramiento es grave o prolongado, puede causar la muerte del coral (Brown y Ogden, 1993). Algunos científicos estiman que el aumento de sólo 2°C por encima de lo normal en la temperatura del agua puede provocar el

descoloramiento de los corales y prevén una amplia difusión de este fenómeno y una acentuada disminución de los arrecifes si la temperatura aumenta de 1.5°C a 4.5°C.<sup>19</sup>

Los bosques de manglares y sus provincias fronterizas en países tropicales y subtropicales con frecuencia constituyen las zonas más atractivas para el desarrollo de la acuicultura de agua salobre. También desempeñan un papel fundamental en el mantenimiento de la calidad del agua y actúan como amortiguadores de la erosión costera. El aumento del nivel del mar podría causar un desplazamiento hacia tierra de los cinturones de manglares. Los ecosistemas de manglares quizá puedan tolerar un aumento del nivel del mar de menos de 9 centímetros por siglo, pero la mayoría se afectaría con aumentos de 9 a 12 centímetros. Si el ritmo de aumento alcanzara de 1 a 2 metros por siglo, la mayoría de los manglares colapsaría como ecosistemas costeros viables (Ryan, 1992).<sup>20</sup>

Los manglares crecen mejor en ambientes moderadamente salinos, donde la tasa de producción de turba supera la descomposición anaeróbica de turba por los microorganismos marinos reductores de sulfatos. Así pues, los manglares pueden mantenerse a la par del aumento del nivel del mar en zonas húmedas de secano, pero en zonas más áridas se verán excedidos y quedarán abandonados, sobre todo si la retirada al interior es imposible (Tsyban, Everett y Perdomo, 1992). Por lo tanto, los futuros cambios en el régimen de lluvias y escorrentía y en el sobrecorte pueden resultar más importantes para los manglares que el aumento del nivel del mar (OMM/PNUMA/IPCC, 1992).

## F. RECREACION ACUATICA

El uso de las masas de agua con fines recreativos está muy generalizado en América Latina y el Caribe. La recreación acuática se vería afectada por el cambio climático, que podría beneficiar a algunas actividades y perjudicar a otras. Aun en casos en que la recreación acuática resulte perjudicada en algunas zonas, podría registrar un rápido desarrollo en otras que disfruten de climas más cálidos o mayor abastecimiento de agua.

Lo más probable es que las actividades recreativas se beneficien en zonas en que actualmente la baja temperatura del agua limita la posibilidad de practicar deportes acuáticos. La temperatura más cálida podría ser particularmente beneficiosa para el cono sur. Incluso es posible que, con un clima más cálido, la temperatura del agua supere el límite considerado óptimo para la recreación. Según la actividad, las temperaturas máximas se encuentran entre los 30°C y los 50°C (McGauhyn, 1968; Mckee y Wolf, 1963). Las temperaturas del agua de más de 29°C pueden retardar el proceso de liberación del calor de un nadador activo y, en algunos casos, causar agotamiento físico (Lipták, 1974).

El calentamiento debido al efecto invernadero podría deteriorar el nivel de comodidad térmica del ser humano, sobre todo en zonas ecuatoriales y subecuatoriales. Los cambios en la frecuencia, la intensidad y la duración de la incomodidad podrían afectar sensiblemente la industria turística y la recreación acuática, especialmente en el trópico húmedo (McGregor, 1990). Sería motivo de preocupación sobre todo para los países en que el turismo es una importante fuente de divisas y empleo. Los períodos secos más largos y el clima más cálido aumentarían la demanda de agua para piscinas y otras instalaciones recreativas, incluidos parques, jardines y fuentes.

Los paseos en bote e incluso la natación podrían resultar afectados en casos extremos en zonas en que las alteraciones en el régimen hidrológico y de evaporación produjeran un descenso del nivel de agua. Los cambios en las políticas de descarga de los embalses a causa de la alteración de los regímenes pluviales podrían afectar los paseos en bote, mientras que el aumento de la erosión podría perjudicar la práctica del buceo. Si desciende el nivel del agua, cambiarán el carácter y el potencial de recreación en las costeras (Street y Semenov, 1990). En algunas zonas quizá se registren menores posibilidades de recreación a medida que las aguas retrocedan y en otras, es posible que las marismas migren según el nivel del agua (Wall, s.f.).

El sol y las actividades acuáticas van de la mano (Landsberg, 1976). Si la nubosidad total disminuyera con el calentamiento debido al efecto invernadero, como ocurriría probablemente, el sol brillaría más, lo que incentivaría las actividades al aire libre, incluida la recreación acuática. La mayor precipitación podría desalentar muchas actividades recreativas al aire libre y la mayor incidencia e intensidad de las tormentas tropicales y cualquier cambio en su trayectoria podrían perjudicar la recreación y el turismo.

La mayor exposición a la radiación ultravioleta aumenta la frecuencia de las quemaduras solares, el daño a la piel, incluido el cáncer de piel, la supresión del sistema inmunitario, el daño ocular incluidas las cataratas, el daño a la retina y deslumbramiento. La incidencia del cáncer de piel, incluido el melanoma, disminuye de latitudes bajas a altas, posiblemente debido a la menor radiación ultravioleta. A mayor latitud, el agotamiento del ozono estratosférico probablemente estaría acompañado de un aumento en la incidencia del cáncer de piel y otros efectos en la salud. Cada 1% de descenso del contenido total de ozono en la columna atmosférica produciría un aumento de 0.6% en la incidencia de cataratas y un 3% de aumento en la incidencia de cáncer de piel distinto del melanoma (PNUMA, 1992). Un grave agotamiento del ozono puede tener efectos catastróficos. Si se produjera un agotamiento de 20% del ozono, la radiación sería tan intensa que causaría graves quemaduras en dos horas de exposición y resultaría imposible estar al aire libre durante el día sin protección (Makhijani, Makhijani y Bickel, 1988). Tales aumentos de radiación modificarían apreciablemente la conducta recreativa desde la disposición de las personas a exponerse al sol y a la luz, lo que tendría importantes consecuencias para muchas actividades acuáticas recreativas.



## CONCLUSIONES

El cambio climático mundial plantea singulares dificultades para los usuarios de los recursos hídricos. A diferencia de otros problemas ambientales que habitualmente tienen consecuencias locales o, en el peor de los casos, regionales, el cambio climático tendría un carácter verdaderamente mundial y afectaría a todos los usos del agua. Todo cambio climático perduraría más que la mayoría de las instituciones encargadas de la ordenación de los recursos hídricos, y supondría muchos interrogantes respecto de su velocidad, su incidencia geográfica y sus consecuencias para la ordenación de dichos recursos.

Es posible que cuando se disponga de cálculos confiables respecto de los cambios hidrológicos regionales ya sea muy oneroso adaptar la utilización del agua a los cambios de suministro. Como no se conocen bien los efectos locales del cambio climático mundial, es preciso que los sistemas de ordenación de los recursos hídricos sean muy flexibles y capaces de controlar eficazmente los recursos en condiciones climáticas diferentes. Para ello será necesario elaborar mecanismos institucionales eficaces por un lado y promover la investigación de nuevas técnicas, tecnologías y prácticas de ordenación, por el otro. Para adaptarse a los cambios en las condiciones hidrológicas habrá que mejorar las prácticas de ordenación de los recursos hídricos, como la fijación de precios conforme al costo marginal y la comercialización del agua, para fomentar la adopción de tecnologías de ahorro, así como conservar y reasignar suministros, de acuerdo con la variación de las condiciones climáticas.

Muchas decisiones importantes sobre el aprovechamiento de los recursos hídricos se basan en el supuesto de que la información climática pasada, sin modificaciones, puede servir de guía confiable para el futuro. Probablemente haya que revisar muchos de los supuestos estadísticos básicos, incluidos el uso de una media estacionaria y una varianza consistente en el tiempo. Cada vez se acepta más la idea de que la media estacionaria no es realista en el diseño de proyectos de ingeniería para la prevención de las inundaciones y el abastecimiento de agua. En los procedimientos de diseño deberá tenerse en cuenta que el clima puede cambiar y que las estructuras que tengan una esperanza de vida de 50 a más de 100 años deberán adaptarse a esos cambios.

Es urgente perfeccionar las estimaciones de las condiciones climáticas futuras en América Latina y el Caribe, a fin de tomar mejores decisiones respecto de la ordenación de los recursos hídricos. Sobre todo, es preciso definir los datos climáticos e hidrológicos necesarios para evaluar las posibles repercusiones del cambio climático en la ordenación de los recursos hídricos, examinar cómo afectarán las variables climáticas a los sistemas de ordenación y determinar la posible gama de consecuencias físicas, sociales y económicas del cambio climático, así como reevaluar y revisar los actuales procedimientos e instituciones de ordenación de los recursos hídricos.

La incertidumbre producida por la posibilidad del cambio climático mundial podría tener importantes consecuencias para el funcionamiento de instalaciones hidráulicas. Las más afectadas serían las grandes estructuras monolíticas. Probablemente la ordenación de los recursos hídricos basada en componentes menores integrados e individualmente construidos, operados y continuamente modificados esté en mejores condiciones de adaptarse y responder a los cambios climáticos. No obstante, la

flexibilidad y la integración pueden entrar en conflicto con la tendencia a definir las instituciones de ordenación con límites administrativos o de divisorias de aguas, ya que para operar los sistemas hidrológicos sería necesario contar con la cooperación regional.

En muchas situaciones, poco se puede hacer actualmente para anticiparse al cambio climático, fuera de tratar de fortalecer y flexibilizar los sistemas conforme a la práctica tradicional para procedimientos de diseño y funcionamiento. En el caso de inversiones nuevas, se pueden utilizar métodos de diseño y de decisión convencionales para determinar si el fortalecimiento de los sistemas justifica que se incurra en gastos adicionales para que estén en condiciones de hacer frente al cambio climático.

Se dispone de opciones tecnológicas para limitar los posibles efectos adversos del cambio climático sobre la utilización del agua y limitar las emisiones procedentes de las principales fuentes de gases de invernadero vinculadas con el agua. Quizá algunas de estas opciones ya sean económicamente viables. Es preciso seguir realizando esfuerzos para eliminar las barreras que impiden que se sigan utilizando estas opciones, como los sistemas de incentivos incompatibles, la falta de información técnica, etc.

El cambio climático mundial podría aumentar la incidencia de fenómenos climáticos extremos y alterar sus modalidades, distribución espacial e intensidad. Sin embargo, el cambio climático no necesariamente causará sólo problemas. Incluso puede resultar beneficioso para la utilización del agua en algunas zonas y sin duda brindará nuevas oportunidades para la ordenación de los recursos hídricos. La tradicional capacidad de la región para adaptarse a los cambios climáticos y a otros aspectos ambientales atenuará cualquier posible daño. Como en ocasiones anteriores, en el futuro la región podrá responder a las limitaciones que surjan y aprovechar las oportunidades que se le ofrezcan. Además, los continuos adelantos tecnológicos y de gestión, semejantes a los que se produjeron en los últimos decenios, contribuirán a contrarrestar las pérdidas y cosechar nuevos beneficios.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (IPCC) ha propuesto una serie de estrategias para que la práctica de la ordenación de los recursos hídricos pueda adaptarse a las dificultades que planteará el cambio climático. Estas estrategias, que se resumen en el recuadro 5, sirven de base para preparar un programa de acción para el posible cambio climático en América Latina y el Caribe.

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), celebrada en Rio de Janeiro, Brasil, en junio de 1992, se aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Para mediados de octubre de 1992, 158 países la habían firmado (Naciones Unidas, 1992). La Convención entrará en vigor 90 días después de recibido el quincuagésimo instrumento de ratificación, aceptación, aprobación o adhesión de los Estados. El objetivo último de la Convención es lograr "la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible" (Comité Intergubernamental de Negociación de una Convención General sobre los Cambios Climáticos, 1992). Con este fin, la Convención dispone que todas las Partes se comprometan a adoptar políticas y medidas para mitigar el cambio climático y adaptarse a él. Los países desarrollados Partes han de prestar apoyo financiero y tecnológico a los países en desarrollo Partes. Todas las Partes deben informar sobre el cumplimiento de sus compromisos, a fin de que se examinen por conducto de los mecanismos de la Convención.

## Recuadro 5

## ESTRATEGIAS DE ADAPTACION PROPUESTAS POR EL IPCC PARA LA ORDENACION DEL AGUA

### 1. Sincronización de las estrategias

En vista de la incertidumbre que rodea la extensión, la magnitud y la periodicidad del cambio climático y sus efectos sobre los recursos hídricos, quizá sea prudente aplazar el estudio de medidas de adaptación más costosas hasta tanto esta incertidumbre no se haya disipado. Análogamente, muchas de las estrategias de adaptación menos costosas, especialmente las que poseen otras ventajas, podrían servir tanto en las condiciones actuales como si se produjera un cambio climático. Algunos programas y estrategias pueden aplicarse en el corto plazo, pero otros quizá necesiten más tiempo. Por suerte, las prácticas actuales ya incorporan muchas adaptaciones al cambio climático y habría que fomentar su aplicación general.

### 2. Determinación de la flexibilidad y vulnerabilidad de los sistemas actuales de abastecimiento de agua

Habida cuenta de la incertidumbre respecto de la índole de los cambios hidrológicos que cabe prever en determinada región y el costo que supone efectuar modificaciones importantes en las actuales estructuras de abastecimiento de agua, un primer paso lógico consistiría en evaluar la flexibilidad de los sistemas hídricos existentes ante los cambios climáticos. Se podrían utilizar modelos para estimar la vulnerabilidad de los sistemas hídricos a un incremento de la aridez y la escorrenfia. En esos modelos sería preciso incorporar datos respecto de las instalaciones, caudales y otras estadísticas actuales.

### 3. Optimización de sistemas

La utilización conjunta y la actualización de las normas de funcionamiento pueden aumentar significativamente el rendimiento de los sistemas si los distintos organismos o jurisdicciones están dispuestos a suscribir acuerdos en ese sentido. En el largo plazo, una vez que se comprende mejor la flexibilidad y vulnerabilidad de un sistema de abastecimiento de agua para responder a una diversidad de cambios hidrológicos, el paso siguiente sería tratar de optimizar el rendimiento, la producción de energía hidroeléctrica, la regulación de las crecidas, los usos recreativos, la preservación del hábitat de peces y fauna y otros productos de las instalaciones existentes con arreglo a diversos escenarios de cambio climático, así como en las actuales condiciones climáticas. La optimización de los sistemas internacionales de recursos hídricos quizá requiera una mayor cooperación internacional entre los países que comparten las cuencas fluviales.

### 4. Mejoramiento de la medición, la vigilancia, el conocimiento y el pronóstico científicos

Una de las primeras dificultades consiste en determinar si tienen lugar o se prevé que ocurrirán cambios en el largo plazo, en determinada región. La observación integral y precisa de los factores hidrológicos y meteorológicos es la base de tales evaluaciones. La interacción entre el sistema hidrológico y el resto del sistema climático o la detección de tendencias en la disponibilidad de agua y otros elementos útiles para la ordenación de los recursos hídricos exige un estudio constante con el objetivo eventual de poder formular pronósticos aplicables a áreas o cuencas.

### 5. Ahorro de agua

El riego es la actividad que consume mayor cantidad de agua dulce en muchos lugares y una reducción porcentual relativamente pequeña del agua destinada a su uso puede significar que se disponga de grandes cantidades de agua para nuevos usos. Entre las medidas para ahorrar agua destinada a usos agrícolas pueden incluirse una mejor programación de la cantidad y sincronización de la distribución del agua, el revestimiento de canales, la recuperación de aguas de descarga, el riego por goteo, el empleo de cultivos más resistentes a las sequías y las prácticas de labranza que conservan la humedad del suelo.

La educación, el empleo de mejores sistemas de medición e instalación de medidores, las mejoras tecnológicas que prescriben el empleo de artefactos con un uso más eficiente del agua en los códigos de construcción y en los climas cálidos la utilización de jardines de bajo consumo de agua en vez de prados pueden ahorrar el agua suministrada para uso municipal e industrial. Junto con estas medidas, la fijación de precios es un incentivo potencial para ahorrar agua.

## Recuadro 5 (Cont.)

**6. Administración de la demanda mediante la fijación de precios**

El precio del agua proporciona señales e incentivos para ahorrar agua, crear nuevas fuentes de abastecimiento y asignar existencias limitadas entre usos competitivos. Puesto que el uso del agua es sensible al precio, los usuarios, enfrentados a un aumento del precio, generalmente ahorrarán agua y modificarán las tecnologías y la selección de cultivos. Por consiguiente, la fijación de precios por parte de las autoridades encargadas del suministro de agua a fin de reflejar el costo real o de reposición, fomenta un consumo eficiente. Sin embargo, el precio se fija a menudo por debajo del costo de distribución o costo marginal a largo plazo, lo que lleva a un consumo excesivo de agua y de otros recursos que se necesitan para construir nuevas instalaciones de abastecimiento.

Las ciudades y distritos de riego tienen además la gran oportunidad de emplear la fijación de precios conforme al costo marginal o una estructura tarifaria progresiva para ahorrar agua. Si se deja que los derechos de agua se negocien a su valor de mercado, se pueden obtener resultados similares a un aumento de las tarifas.

**7. Transferencia voluntaria de derechos de agua o mecanismo del mercado**

Una manera de responder a condiciones más áridas consiste en establecer mecanismos institucionales a fin de asegurar el uso más productivo del agua. Uno de los medios de lograrlo es mediante el establecimiento de un sistema de derechos de agua transables.

La transferencia de derechos de agua puede hacerse recurriendo a mecanismos como el pago de alquileres anuales, los arriendos de corto plazo, la venta permanente, el pago de sumas destinadas a inversiones para economizar agua a cambio del agua ahorrada o la suscripción de acuerdos para la eventualidad de un año seco, en virtud de los cuales la transferencia de derechos sólo tendría lugar en condiciones específicas de sequía. La viabilidad de estos criterios variaría, dependiendo del grado de confianza en los derechos de propiedad y en los mercados en el pasado.

**8. Modificación de los sistemas de cultivo y labranza**

Todo cambio a largo plazo en la hidrología relacionado con el clima puede llevar a modificar las prácticas de cultivo. Estos cambios, a su vez, pueden afectar la demanda y el suministro de agua y repercutir sobre el volumen de contaminantes en la escorrentía de tierras agrícolas.

Algunos sistemas de labranza constituyen medidas eficaces para conservar los suelos y el agua. Las prácticas que dejan gotas residuales sobre la superficie del suelo tienden a aumentar la rugosidad superficial y la materia orgánica, con lo que se incrementa la infiltración y disminuye la posibilidad de erosión del suelo. Los residuos superficiales también contribuyen a reducir la pérdida de suelos debido a la erosión eólica. Cualquier sistema de labranza que evite exponer la humedad del subsuelo a pérdidas por evaporación o que cree una barrera sobre el suelo a la evaporación, puede contribuir de manera significativa a la conservación del agua en las tierras agrícolas, especialmente en las áreas de secano. De manera que los sistemas de labranza permiten utilizar las precipitaciones de manera más eficiente en las zonas más áridas, disminuir la erosión causada por el exceso de lluvias y reducir los efectos extra agrícolas de la erosión del suelo y de los productos químicos agrícolas transportados por las aguas escurridas. El empleo combinado de prácticas de labranza modificadas con otras prácticas de explotación de tierras con el objeto de disminuir el consumo de agua y la erosión del suelo, como la construcción de terraplenes, la nivelación de los campos con ayuda de rayos láser y los sistemas de recuperación del agua pueden recuperar el agua escurrida.

**9. Ordenación de los recursos naturales**

Los programas que abordan la deforestación y la desertificación pueden atenuar los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos mediante la inclusión de aspectos sobre las repercusiones y riesgos potenciales de dicho cambio.

**10. Prevención de las inundaciones**

Las estrategias para prevenir las inundaciones utilizan actualmente la magnitud y frecuencia computadas de los fenómenos de inundaciones históricas. Los efectos potenciales del cambio climático comprenden las variaciones en la magnitud y frecuencia de las tormentas y la magnitud, proporción y periodicidad del deshielo de la capa de nieve.

**Recuadro 5 (Concl.)**

Junto con estudios relativos al funcionamiento de sistemas concebidos para adaptarse a una gama más amplia de condiciones climáticas futuras, en las estrategias de adaptación potencial se podría contemplar el empleo de satélites para reunir datos y otros sistemas avanzados a fin de mejorar la capacidad de dar la alerta en caso de inundaciones y formular pronósticos. También pueden considerarse la zonificación de las llanuras inundables y el seguro contra inundaciones.

**11. Socorro en casos de desastre y preparativos para casos de emergencia**

Debido a la incertidumbre que rodea los efectos del cambio climático, el mejoramiento de los programas de ayuda en casos de desastre puede ser una respuesta eficaz.

**12. Modificaciones técnicas**

El diseño de vertederos de mayor capacidad a la hora de construir un proyecto y otras modificaciones técnicas eficaces en función de los costos, como el aumento de la capacidad de los bordos y diques, pueden servir para manipular un mayor caudal de agua.

**13. Educación, transferencia de tecnología y asistencia financiera**

Los esfuerzos en materia de educación, capacitación y asistencia técnica destinados a ordenadores y usuarios de los recursos hídricos pueden desempeñar un papel importante para lograr un uso más eficiente capaz de ajustarse a posibles cambios climáticos. En estos programas pueden incluirse iniciativas nacionales, regionales e internacionales como la investigación científica en común, el intercambio de resultados de las investigaciones y la cooperación en materia de capacitación y asistencia técnica.

Los gobiernos pueden crear, si aún no lo han hecho infraestructuras para contribuir a la rápida difusión de tecnologías nuevas y apropiadas, técnicas de gestión y prácticas para todos los ordenadores a fin de mejorar la solidez y flexibilidad de los sistemas hídricos.

**14. Modificación de la capacidad de almacenamiento y otras medidas de ampliación**

Una manera de adaptarse al cambio climático consiste en aumentar la capacidad de almacenamiento mediante la elevación de las presas existentes, la construcción de nuevas instalaciones, la transferencia de agua o la alimentación de los acuíferos subterráneos con el agua disponible en la superficie.

**15. Seguridad de las presas y otros criterios técnicos**

Una mayor escorrenfía producto del cambio climático podría representar una grave amenaza para la seguridad de las presas con deficiencias de construcción. Quizá sea preciso reevaluar las especificaciones técnicas de las presas a fin de incorporar los efectos del cambio climático.

**16. Ajustes para proteger la calidad del agua**

Con los cambios climáticos a nivel mundial, el funcionamiento eficiente de los sistemas destinados a ordenar la calidad del agua puede hacerse más crítico. Los permisos de descarga transferibles son un medio de cumplir con las normas ambientales de calidad del agua a un costo mínimo mediante la comercialización de la capacidad de reducir la contaminación.

Existen actualmente diversas tecnologías que pueden atenuar los cambios desfavorables en la calidad del agua. La modificación del funcionamiento de los embalses para que pueda extraerse agua en múltiples niveles o la incorporación de este dispositivo en los embalses existentes aumentaría la capacidad de hacer frente a los cambios en la calidad del agua. El nivel de las descargas en un caudal, incluido el escurrimiento de fuentes no localizadas de la cuenca, también afecta la calidad del agua. Por consiguiente, los programas de ordenación de las cuencas destinados a controlar las fuentes difusas y las fuentes localizadas pueden contribuir a conservar la calidad del agua.

En los estuarios puede resultar provechoso reubicar las tomas de abastecimiento de agua lejos de las áreas proclives a la intrusión de agua salada y construir barreras para impedir que siga la intrusión de agua salada en estuarios y ríos.

**17. Mayor utilización de la energía hidroeléctrica**

Existe un gran potencial para desarrollar la energía hidroeléctrica en América Latina. El aprovechamiento de estos recursos contribuiría a reducir la quema de combustibles fósiles y leña, con lo que disminuyen directamente las emisiones de anhídrido carbónico.

**Fuente:** Organización Meteorológica Mundial/Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos/Working Group III (OMM/PNUMA/IPCC/WG III), Response Strategies/Resource Use and Management Subgroup, "First Report on Adaptive Responses to Global Climate Change", 25 de abril de 1990.

Notas

<sup>1</sup> Esta proyección se refiere únicamente al hemisferio boreal.

<sup>2</sup> Según Mitchell (1989), la concordancia entre los distintos modelos es mucho mejor para las temperaturas que para los cambios en el ciclo hidrológico.

<sup>3</sup> G.L. Potter, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, California, comunicación personal, 5 de febrero de 1990, citado en Cline (1992a).

<sup>4</sup> De acuerdo con Ayres y Walter (1991), la evapotranspiración aumentaría de 5% a 10%. Según Schneider y Rosenberg (1989), la evapotranspiración se incrementaría globalmente en cerca de 7% a 12%.

<sup>5</sup> Obsérvese que a mayores niveles de la troposfera, aumenta la gradiente de temperatura del ecuador al polo y puede ser suficiente para producir un flujo más vigoroso hacia el oeste a niveles superiores.

<sup>6</sup> V. Markgraf, estudios inéditos sobre el polen, según se cita en Butzer (1980) y Folland, Karl y Vinnikov (comps.) (1990).

<sup>7</sup> Las cifras exactas son 778 millones de dólares y 36.5%.

<sup>8</sup> De acuerdo con Horgan, ésta es la opinión de Jay R. Herman, del Centro Goddard de vuelos espaciales (Goddard Space Flight Center) de la NASA.

<sup>9</sup> Según Horgan, esta información se obtuvo de Joe W. Waters, del Laboratorio de retropropulsión (Jet Propulsion Laboratory).

<sup>10</sup> Según cálculos basados en informaciones de la International Commission on Large Dams (ICOLD) (1984).

<sup>11</sup> Cálculos basados en informaciones que figuran en L'vovich y otros (s/f). Los datos corresponden a 1980. El agua de riego extraída y consumida se calcula como el total del agua extraída y consumida para todos los propósitos, menos el agua extraída y consumida para usos domésticos y municipales, industriales y generación de energía. Esta hipótesis puede sobreestimar levemente el volumen real del agua de riego extraída y consumida.

<sup>12</sup> Según Nilsson (1992), un incremento de 1°C en la temperatura media haría avanzar el límite térmico del cultivo de cereales en 150 a 200 kilómetros en las latitudes medias del hemisferio boreal.

<sup>13</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), datos inéditos, según se citan en Instituto Mundial de Recursos (WRI, 1992).

<sup>14</sup> Pimentel y otros (1992), citado en Parry y Sirotenko (comps.) (1992).

<sup>15</sup> De acuerdo con Teramura y Sullivan (1991), se han estudiado los efectos de la radiación ultravioleta B en aproximadamente 300 especies y variedades de plantas, y de aquellas estudiadas, casi la mitad mostró daños fisiológicos y/o crecimiento en respuesta a la radiación ultravioleta B.

<sup>16</sup> Estimaciones basadas en informaciones que figuran en L'vovich y otros (s/f).

<sup>17</sup> Promedio del período 1986/1987-1989/1990.

<sup>18</sup> Según la Secretaría del Commonwealth (1989), uno de los efectos previstos del calentamiento de la atmósfera es la propagación de enfermedades tropicales en los países en desarrollo del Commonwealth situados en las islas del Océano Indico, el Caribe y el Pacífico.

<sup>19</sup> World Watch Institute, con base en diversas fuentes, según se cita en Ryan (1992).

<sup>20</sup> Se refiere a un estudio reciente realizado por Joanna Ellison y David Stoddart, de la Universidad de California.

## BIBLIOGRAFIA

- Acock, B. y L.H. Allen (1985), "Crop responses to elevated carbon dioxide concentrations", *Direct effects of increasing carbon dioxide on vegetation* (DOE/ER/-0238), B.R. Strain y J.D. Cure (comps.), Washington, D.C., U.S. Department of Energy.
- Aguilera, Rosa y otros (1992), *Efectos de los cambios climáticos en los ecosistemas costeros y marinos de Chile*, Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (comp.), Valparaíso, Chile, abril.
- Andressen, R. y B. Rincon (1991), "Preliminary Assessment of Climate Change Influence on Hydrological Regimes of Three Basins in West Venezuela".
- Arrhenius, Erik y Thomas W. Waltz (1990), *The Greenhouse Effect: Implications for Economic Development*, serie World Bank Discussion Papers, N° 78, Washington, D.C., Banco Mundial.
- ASPEI (Association of South Pacific Environmental Institutions) Task Team Members (1990), "Overview of potential impacts of climatic change in the SPREP region", *Implications of expected climate changes in the South Pacific region: an overview*, J.C. Pernetta y P.J. Hughes (comps.), UNEP Regional Seas Reports and Studies N° 128, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- Ayres, Robert U. y Jörg Walter (1991), *The greenhouse effect: damages, costs, and abatement*, (RR-91-12), Instituto Internacional de Análisis Aplicado de Sistemas (IIASA), Laxenburg, Austria.
- Bakun, Andrew (1990), "Global climate change and intensification of coastal ocean upwelling", *Science*, vol. 247, 12 de enero.
- Banco Mundial (1992a), *Informe sobre el desarrollo mundial, 1992. Desarrollo y medio ambiente*, Nueva York, Oxford University Press.
- \_\_\_\_\_ (1992b), *Brazil. An analysis of environmental problems in the Amazon*, Report N° 9104-BR, Washington, D.C., División de Central de Operaciones, Departamento de Brasil, Región de América Latina y el Caribe.
- Barber, Richard T. y Francisco P. Chavez (1983), "Biological consequences of El Niño", *Science*, vol. 222, 16 de diciembre.
- Bardach, John E. (1988), *Coastal Zone Activities and Sea Level Rise*, Working Paper, N° 11, Honolulu, Environment and Policy Institute, East-West Center.

- Bazzaz, F.A. y Eric D. Fajer (1992), "Plant life in a CO<sub>2</sub>-rich world", *Scientific American*, vol. 266, N° 1.
- Beran, M.A. y N.W. Arnell (1989), "Effect of Climatic Change on Quantitative Aspects of United Kingdom Water Resources", informe preparado para el Department of Environment Water Inspectorate, Institute of Hydrology, Reino Unido, citado en M.L. Parry, G.V. Mendzhulin y S. Sinha (comps.), "Chapter 2. The potential impact of climate change on agriculture and forestry", abril de 1990, versión preliminar.
- Birkeland, C. (1990), "Caribbean and Pacific coastal marine systems: similarities and differences", *Nature & Resources*, vol. 26, N° 2.
- Biswas, Asit K. (1984), "Climate and water resources", *Climate and Development*, Asit K. Biswas (comp.), serie Natural Resources and the Environment, vol. 13, Dublín, Tycooly International Publishing Limited.
- Böhme, W. (1990), "Programmes and co-operation in climate research: a means to the understanding of the climate system as a requirement to cope with the climate issue", *Climate and Development. Climatic Change and Variability and the Resulting Social, Economic and Technological Implications*, H.-J. Karpe, D. Otten y Sergio C. Trindade (comps.), Naciones Unidas, Berlín, Springer-Verlag.
- Bolin, B. (1980), *Climatic Changes and Their Effects on the Biosphere*, WMO, N° 542, Ginebra, Organización Meteorológica Mundial (OMM).
- Booth, W. (1989a), "Severe ozone depletion likely again this year", *The Washington Post*, 6 de octubre.
- \_\_\_\_\_ (1989b), "Ozone holes found causing radiation rise", *The Washington Post*, 27 de julio.
- Bravo, R.E. y otros (1988), "The effects of climatic variations on agriculture in the Central Sierra of Ecuador", *The Impact of Climatic Variations on Agriculture. Volume 2. Assessments in Semi-arid Regions*, M.L. Parry, T.R. Carter y N.T. Konijn (comps.), Dordrecht, Países Bajos, Reidel, citado en Martin Parry y Timothy Carter, "Some strategies of response in agriculture to changes of climate", *Climate and Development. Climatic Change and Variability and the Resulting Social, Economic and Technological Implications*, H.-J. Karpe, D. Otten y Sergio C. Trindade (comps.), Naciones Unidas, Berlín, Springer-Verlag, 1990.
- Brown, Barbara E. y John C. Ogden (1993), "Coral bleaching", *Scientific American*, vol. 268, N° 1.
- Brown, Lester R. (1985), "Maintaining world fisheries", *State of the World. 1985*, Worldwatch Institute, W.W. Norton & Company.
- Bruce, J.P. (1987), "The atmosphere and water quality", *Water. Lectures Presented at the Thirty-eighth Session of the WMO Executive Council*, WMO, N° 675, Ginebra, Organización Meteorológica Mundial (OMM).



- Butzer, Karl W. (1980), "Adaptation to global environmental change", *The Professional Geographer*, vol. 32, N° 3.
- Cane, Mark A. (1983), "Oceanographic events during El Niño", *Science*, vol. 222, 16 de diciembre.
- Cariolle, D. (1992), "Trends in the ozone layer", *The Courier*, N° 133.
- Carlose, E., M. Tucci y A. Domiani (1991), "International Studies on Climate Change Impacts. Uruguay River Basin (La Plata)", citado en H. Lins, I. Shiklomanov y E. Stakhiv (1992), "Hydrology and water resources", *Draft contribution to the 1992 IPCC supplement. Task 2: prediction of the regional distributions of climate change and associated impact studies, including model validation studies. Supporting material* (IPCC/WG-II/5th/Doc.4, Add.1 (15.I.1992)), Organización Meteorológica Mundial (OMM), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (IPCC), IPCC Working Group II (Impacts), Ginebra, 6-7 de febrero de 1992.
- CEPAL (1979), *Water Management and Environment in Latin America*, serie Water Development, Supply and Management, vol. 12, Nueva York, Pergamon Press.
- \_\_\_\_\_ (1984), *The natural disasters of 1982-1983 in Bolivia, Ecuador and Peru* (E/CEPAL/G.1274), Santiago de Chile.
- \_\_\_\_\_ (1992), *Anuario estadístico de América Latina y el Caribe. Edición 1991* (LC/G.1698-P), Santiago de Chile, Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: E/S.92.II.G.1.
- CIUC/PNUMA/OMM/PMC (Consejo Internacional de Uniones Científicas/Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Organización Meteorológica Mundial/Programa Mundial sobre el Clima) (1986), *Report of the International Conference on the Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of Other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts, Villach, Austria, 9-15 October 1985*, WMO, N° 661, Organización Meteorológica Mundial (OMM), Ginebra.
- Cline, William R. (1991), "Scientific basis for the greenhouse effect", *The Economic Journal*, vol. 101, N° 407.
- \_\_\_\_\_ (1992a), *The Economics of Global Warming*, Washington, D.C., Institute for International Economics.
- \_\_\_\_\_ (1992b), "Global warming: estimating the economic benefits of abatement", *Global Warming. The Benefits of Emission Abatement*, Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), París.
- \_\_\_\_\_ (1992c), "Global warming: the economic stakes", *Policy Analyses in International Economics*, N° 36, Institute for International Economics, Washington, D.C., mayo.

- Comité Intergubernamental de Negociación de una Convención General sobre los Cambios Climáticos (1992), *Report of the Intergovernmental Negotiating Committee for a Framework Convention on Climate Change on the work of the second part of its fifth session, held at New York from 30 April to 9 May 1992* (A/AC.237/18 (Part II)/Add.1), Nueva York, mayo.
- Cooper, Charles F. (1990), "Recreation and wildlife", *Climate Change and U.S. Water Resources*, Paul E. Waggoner (comp.), Nueva York, John Wiley & Sons.
- Crutzen, Paul J. y Meinrat O. Andreae (1990), "Biomass burning in the tropics: impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles", *Science*, vol. 250, 21 de diciembre.
- Charlier, R.H. (1987), "Planning for coastal areas", *Ecology for Environmental Planning*, F.C. Wolff (comp.), Trondheim, Noruega, Norges Geologiske Undersøkelse, citado en IPCC/WG III (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos/Response Strategies Working Group III), *Strategies for Adaptation to Sea Level Rise*, informe presentado por el Coastal Zone Management Subgroup, noviembre de 1990.
- Choisnel, Emmanuel (1992), "Plants respond to changes in the climate", *The Courier*, N° 133.
- Dadzie, K.K.S. (1992), "Overview", *Combating global warming. Study on a global system of tradeable carbon emission entitlements* (UNCTAD/RDP/DFP/1), Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), Nueva York.
- Delecluse, Pascale (1992), "Ocean and climate", *The Courier*, N° 133.
- Dobson, Andrew (1988), "Climate change and parasitic diseases of man and domestic livestock in the United States", *Coping with Climate Change: Proceedings of the Second North American Conference on Preparing for Climate Change*, Washington, D.C., The Climate Institute, citado en Instituto Mundial de Recursos, *World resources 1990-1991*, Nueva York, Oxford University Press, 1990.
- Dooge, J.C.I. (1987), "Climate change and water resources", *Water. Lectures Presented at the Thirty-eighth Session of the WMO Executive Council*, WMO, N° 675, Ginebra, Organización Meteorológica Mundial (OMM).
- Döös, Bo R. (1991), *Environmental issues requiring international action* (RR-91-16), Laxenburg, Austria, Instituto Internacional de Análisis Aplicado de Sistemas (IIASA), octubre.
- EIU (Economist Intelligence Unit) (1989), *Peru. Country Profile. 1989-1990*, Londres.
- Enfield, D.B. (1988), "Is El Niño becoming more common?", *Oceanography*, citado en A. Tsyban y J. Titus (comps.), "Chapter 6. World Oceans and Coastal Zones", abril de 1990, versión preliminar.
- EPA (Organismo de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos) (1988a), *The Potential Effects of Global Climate Change on the United States. Draft. Report to Congress. Volume 1: Regional Studies*, Joel B. Smith y Dennis A. Tirpak (comps.), Washington, D.C.

- \_\_\_\_\_ (1988b), *The Potential Effects of Global Climate Change on the United States. Draft. Report to Congress. Volume 2: National Studies*, Joel B. Smith y Dennis A. Tirpak (comps.), Washington, D.C.
- \_\_\_\_\_ (1989), "The Potential Effects of Global Climate Change on the United States. Draft. Report to Congress. Executive Summary", Joel B. Smith y Dennis A. Tirpak (comps.), Washington, D.C.
- Escobar, Jairo (1988), "Climate change and sea-level rise in the South-East Pacific region", *The Siren*, N° 39, diciembre.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (1991a), *FAO Yearbook. Fertilizer. 1990*, vol. 40, FAO Statistical Series N° 100, Roma.
- \_\_\_\_\_ (1992), *Anuario. Producción, 1991*, vol. 45, Roma.
- Folland, C.K., T.R. Karl y K.Ya. Vinnikov (comps.) (1990), "Section 7. Observed Climate Variations and Change. Peer Reviewed Assessment for WG1 Plenary", 29 de abril.
- Foster, Stephen, Miguel Ventura y Ricardo Hirata (1987), *Groundwater Pollution. An Executive Overview of the Latin American-Caribbean Situation in Relation to Potable Water-supply*, Lima, Organización Mundial de la Salud (OMS), Organización Panamericana de la Salud (OPS), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).
- Frederick, Kenneth D. y Peter H. Gleick (1989), "Water resources and climate change", *Greenhouse Warming: Abatement and Adaption*, Norman J. Rosenberg y otros (comps.), Climate Resources Program, Resources for the Future, Washington, D.C.
- Fuenzalida, Humberto y otros (1989), "Cambio climático global y eventuales efectos en Chile", *Ambiente y desarrollo*, vol. 5, N° 2.
- Gates, L., P. Rowntree y Q. Zeng (1990), "Section 4. Validation of Climate Models. Peer Reviewed Assessment for WG1 Plenary", 28 de abril.
- Georgiadi, A.G. (1991), "The change of the hydrological cycle under the influence of global warming", *Hydrology for the Water Management of Large River Basins*, F.H.M. van de Ven, D. Gutknecht, D.P. Loucks y K.A. Salewicz (comps.), La Haya, Asociación internacional de Ciencias Hidrológicas (AICH), Publication, N° 20.
- Glantz, M.H. (1990), "Climate variability, climate change and the development process in Sub-Saharan Africa", *Climate and Development. Climatic Change and Variability and the Resulting Social, Economic and Technological Implications*, H.-J. Karpe, D. Otten y Sergio C. Trindade (comps.), Berlín, Springer-Verlag.
- Glantz, M.H., R. Katz y M. Krenz (comps.) (1987), *Climate crisis*, Boulder, Colorado, National Center for Atmospheric Research, citado en A. Tsyban y J. Titus (comps.), "Chapter 6. World Oceans and Coastal Zones", abril de 1990, versión preliminar.

- Gleick, P.H. (1987), "Regional hydrologic consequences of increases in atmospheric CO<sub>2</sub> and other trace gases", *Climatic Change*, vol. 10, citado en William R. Cline, "Global warming: estimating the economic benefits of abatement", *Global Warming. The Benefits of Emission Abatement*, Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), París, 1992.
- \_\_\_\_\_ (1990), "Vulnerability of water systems", *Climate Change and U.S. Water Resources*, E. Waggoner (comp.), Nueva York, John Wiley & Sons.
- Graedel, T.E. y R. McGill (1986), "Degradation of materials in the atmosphere", *Environmental Pollution Technology*, vol. 20, N° 11, citado en M. Hashimoto, M. Styrikovich y S. Nishioka, "Chapter 5. Impacts of Climatic Change on Human Settlement, the Energy, Transport and Industrial Sectors, Human Health and Air Quality, and Likely Impacts of Changes in Ultraviolet-B", abril de 1990, versión preliminar.
- Grove, J.M. (1988), *The Little Ice Age*, Londres, Methuen, citado en C.K. Folland, T.R. Karl y K.Ya. Vinnikov (comps.), "Section 7. Observed Climate Variations and Change. Peer Reviewed Assessment for WG1 Plenary", 29 de abril de 1990.
- Hashimoto, M., M. Styrikovich y S. Nishioka (1990), "Chapter 5. Impacts of Climatic Change on Human Settlement, the Energy, Transport and Industrial Sectors, Human Health and Air Quality, and Likely Impacts of Changes in Ultraviolet-B", abril, versión preliminar.
- Hekstra, Gjerrit P. (1989), "Sea-level rise: regional consequences and responses", *Greenhouse Warming: Abatement and Adaption*, Norman J. Rosenberg y otros (comps.), Climate Resources Program, Resources for the Future, Washington, D.C.
- Hendry, M. (1992), *Sea Level Movements and Shoreline Changes*, citado en A. Tsyban, J. Everett y M. Perdomo, "World oceans and coastal zones", *Draft contribution to the 1992 IPCC supplement. Task 2: prediction of the regional distributions of climate change and associated impact studies, including model validation studies. Supporting material (IPCC/WG-II/5th/Doc.4, Add.1 (15.I.1992))*, Organización Meteorológica Mundial (OMM), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (IPCC), IPCC Working Group II (Impacts), Ginebra, 6-7 de febrero de 1992.
- Horgan, John (1992), "Volcanic disruption", *Scientific American*, vol. 266, N° 3, marzo.
- Hurtado, María Elena (1985), "A hard rain begins to fall ...", *South*, N° 61, noviembre.
- ICOLD (Comisión Internacional de Grandes Represas) (1984), *World Register of Dams*, París.
- Idso, Sherwood B. y otros (1987), "Effects of atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment on plant growth: the interactive role of air temperature", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 20.
- IIASA (Instituto Internacional de Análisis Aplicado de Sistemas) (1981), *Life on a Warmer Earth. Possible Climatic Consequences of Man-made Global Warming*, Executive Report N° 3, Laxenburg, Austria.

- IMARPE (Instituto del Mar del Perú) (1983), *Desembarque total de las principales especies por grupos y según años*, Lima, Ministerio de Pesquería, IMARPE, Oficina de Estadística y Estudios Económicos Pesqueros, abril.
- IMI (International Meteorological Institute in Stockholm) (1986), "Executive summary", *Report of the International Conference on the Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of Other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts, Villach, Austria, 9-15 October 1985*, WMO, N° 661, Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Organización Meteorológica Mundial (OMM), Programa Mundial sobre el Clima (PMC), Ginebra.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos) (1990a), "Policymakers Summary of the Potential Impacts of Climate Change", informe preparado para el IPCC por el Working Group II, junio.
- \_\_\_\_\_ (1990b), "Potential Impacts of Climate Change. Informe preparado para el IPCC por el Working Group II", Nueva York, junio, citado en William R. Cline, "Global warming: estimating the economic benefits of abatement", *Global Warming. The Benefits of Emission Abatement*, Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), París, 1992.
- IPCC/WG III (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos/Response Strategies Working Group III) (1990), *Strategies for Adaptation to Sea Level Rise*, informe preparado por el Coastal Zone Management Subgroup, noviembre.
- IPS (International Press Service) (1992), "Environment: 'El Niño' is back, says US weather service", *South-North Development Monitor*, N° 2756, Washington, D.C.
- Jacobs, Brent C. (1990), "CO<sub>2</sub>, climate change and crop physiology in the South Pacific", *Global Warming-related Effects on Agriculture and Human Health and Comfort in the South Pacific*, Philip J. Hughes y Glenn McGregor (comps.), Port Moresby, University of Papua New Guinea.
- Jacoby, Henry D. (1990), "Water quality", *Climate Change and U.S. Water Resources*, Paul E. Waggoner (comp.), Nueva York, John Wiley & Sons.
- Jodha, N.S. (1989), "Potential strategies for adapting to greenhouse warming: perspectives from the developing world", *Greenhouse Warming: Abatement and Adaptation*, Norman y otros (comps.), Washington, D.C., Resources for the Future.
- Jones, M.B. (1986), "The effects of elevated carbon dioxide levels on the growth of crop plants: an attempt to predict the consequences for grassland and maize production in Europe", *Current Issues in Climate Research*, A. Ghazi y R. Fantechi (comps.), Dordrecht, Países Bajos, Reidel.
- Karas, Jacqueline H.W. (1991), *Back from the Brink: Greenhouse Gas Targets for a Sustainable World*, Londres, Friends of the Earth, citado en John C. Ryan, *Life Support: Conserving Biological Diversity*, Worldwatch Paper, N° 108, 1992.

- Kellogg, W.W. y Zong-ci Zhao (1988), "Sensitivity of soil moisture to doubling of carbon dioxide in climate model experiments. Part I: North America", *Journal of Climate*, N° 1.
- Kitching, H.W. (1982), Environmental management in mineral resources development, Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, *Proceedings of the Working Group Meeting on Environmental Management in Mineral Resource Development (ST/ESCAP/186)*, serie Mineral Resources Development, N° 49, Nueva York, Naciones Unidas.
- Kopp, Raymond J. y otros (1985), "Implications of environmental policy for U.S. agriculture: the case of ambient ozone standards", *Journal of Environmental Management*, vol. 20, Reprint, N° 228, Washington, D.C., Resources for the Future.
- Kwaad, F. (1989), "Precipitation Parameters and Soil Erosion on Arable Land on Loess Soils in South-Limburg (The Netherlands)", documento presentado en la European Conference on Landscape Ecological Impact of Climate Change, 3-7 de diciembre, Lunteren, Países Bajos, citado en R.B. Street y S.M. Semenov, "Chapter 3. Environmental Impacts and Socioeconomic Consequences of Climatic Changes for Natural Terrestrial Ecosystems", abril de 1990, versión preliminar.
- L'vovich, Mark y otros (sin fecha), "Use and transformation of terrestrial water systems", *The Earth as Transformed by Human Action. Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years*, B.L. Turner II y otros (comps.), Nueva York, Cambridge University Press y Clark University.
- Landsberg, H.E. (1976), "Weather, climate and human settlements", *Special Environmental Report*, N° 7, WMO, N° 448, Organización Meteorológica Mundial (OMM), Ginebra.
- \_\_\_\_\_ (1984), "Climate and health", *Climate and Development*, serie Natural Resources and the Environment, vol. 13, Asit K. Biswas (comp.), Dublín, Tycooly International Publishing Limited.
- Le Houérou, H.N. (1992), "Climatic change and desertization", *Impact of Science on Society*, N° 166, vol. 42, N° 2.
- Leemans, R. (1990), *Possible Changes in Natural Vegetation Patterns Due to Global Warming (WP-90-8)*, Laxenburg, Austria, Instituto Internacional de Análisis Aplicado de Sistemas, citado en Robert U. Ayres y Jörg Walter, *The greenhouse effect: damages, costs, and abatement (RR-91-12)*, Laxenburg, Austria, Instituto Internacional de Análisis Aplicado de Sistemas, julio de 1991.
- Lettenmaier, D.P. y S.J. Burges (1978), "Climate change: detection and its impact on hydrologic design", *Water Resources Research*, N° 14, citado en Lisa H. Chang, Carolyn T. Hunsaker y John D. Draves, "Recent research on effects of climate change on water resources", *Water Resources Bulletin*, vol. 28, N° 2, 1992.
- Linz, H., I. Shiklomanov y K. Mostefa Kara (1990), "Chapter 4. Hydrology and Water Resources", versión preliminar.

- Linz, H., I. Shiklomanov y E. Stakhiv (1992), "Hydrology and water resources", *Draft contribution to the 1992 IPCC supplement. Task 2: Prediction of the regional distributions of climate change and associated impact studies, including model validation studies. Supporting material* (IPCC/WG-II/5th/Doc.4, Add.1 (15.I.1992)), Organización Meteorológica Mundial (OMM), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (IPCC), IPCC Working Group II (Impacts), Ginebra, 6-7 de febrero.
- Lipták, Bélá G. (comp.) (1974), *Environmental Engineers' Handbook. Volume 1. Water Pollution*, Radnor, Pennsylvania, Chilton Book Company.
- LLNL (Lawrence Livermore National Laboratory) (1990), "Systematic comparison of global climate models", *Energy and Technology Review*, mayo-junio, citado en Mark Drabenstott, "Agriculture's portfolio for an uncertain future: preparing for global warming", *Economic Review*, segundo trimestre, vol. 77, N° 2, Banco de la Reserva Federal de Kansas, 1992.
- Mahlman, J.D. (1988), "Mathematical modelling of greenhouse warming: how much do we know?", *Global Change and Our Common Future*, National Research Council, Washington, D.C., National Academy Press, citado en E. Salati, *Los posibles cambios climáticos en América Latina y el Caribe y sus consecuencias* (LC/L.580(Sem.56/4)), Santiago de Chile, CEPAL, 1990.
- Makhijani, Arjun, Anne Makhijani y Amanda Bickel (1988), *Saving our Skins: Technical Potential and Policies for the Elimination of Ozone-depleting Chlorine Compounds*, Environmental Policy Institute/Institute for Energy and Environmental Research, Washington, D.C., citado en CET (Centro de las Naciones Unidas sobre las Empresas Transnacionales), *Climate change and transnational corporations. Analysis and trends* (ST/CTC/112), Environmental Series, N° 2, Nueva York, 1992.
- Maul, George A. (1988), "Climate change and sea-level rise in the Caribbean region", *The Siren*, N° 39, diciembre.
- McClintic, Howard (1992), "Costly environmental images", *The Journal of Commerce*, 28 de julio.
- McGauhey, P.H. (1968), *Engineering Management of Water Quality*, Nueva York, McGraw-Hill.
- McGregor, Glenn R. (1990), "Possible impacts of climatic change on human thermal comfort in the Western Tropical Pacific", *Global Warming-related Effects on Agriculture and Human Health and Comfort in the South Pacific*, Philip J. Hughes y Glenn McGregor (comps.), Port Moresby, University of Papua New Guinea, octubre.
- McKee, J.W. y H.W. Wolf (1963), *Water Quality Criteria*, segunda edición, Sacramento, California, California State Water Quality Control Board, citado en David F. Kibler (comp.), *Urban Stormwater Hydrology*, Water Resources Monograph 7, Washington, D.C., American Geophysical Union, 1982.

- Meisner, J.D. y otros (1987), "An assessment of the effects of climate warming on Great Lakes Basin fishes", *J. Great Lakes Res.*, N° 13, citado en Charles F. Cooper, "Recreation and wildlife", *Climate Change and U.S. Water Resources*, Paul E. Waggoner (comp.), Nueva York, John Wiley & Sons, 1990.
- Menchaca, L. y R. Byrne (1990), "The Potential Impact of Greenhouse Warming on the Terrestrial Ecosystems of Mexico", citado en R.B. Street y P.I. Meluikov, "Chapter 7. Climate Change and the Terrestrial Cryosphere", abril de 1990, versión preliminar.
- Miller, Kathleen A. (1990), "Water, electricity, and institutional innovation", *Climate Change and U.S. Water Resources*, Paul E. Waggoner (comp.), Nueva York, John Wiley & Sons.
- MIT (Instituto de Tecnología de Massachusetts) (1971), *Inadvertent Climate Modification*, Boston, Informe preparado por el Study of Man's Impact on Climate (SMIC).
- Mitchell, John F.B. (1989), "The 'greenhouse' effect and climate change", *Water Resources Journal* (ST/ESCAP/SER.C/162), Naciones Unidas, Comisión Económica y Social para Asia y el Pacífico (CESPAP), Bangkok.
- Mitchell, J.F.B. y otros (comps.) (1990), "Section 5. Equilibrium Climate Change and its Implications for the Future. Peer Reviewed Assessment for WG1 Plenary", 28 de abril.
- Montealegre, J. Edgar B. (1992), "El Niño: ¡todo un fenómeno!", *Technimat*, N° 1, enero.
- Mugica, R. (1984), "Departamento de Piura rainfall", *Tropical Ocean Atmosphere Newsletter*, citado en Thomas D. Jr. Tapley y Peter R. Waylen, "A mixture model of annual precipitation in Peru", *The Professional Geographer*, vol. 41, N° 1, 1989.
- Myers, Norman (1988), "Tropical deforestation and climatic change", *Environmental Conservation*, vol. 15, N° 4, The Foundation for Environmental Conservation, Ginebra, citado en M. Hashimoto, M. Styrikovich y S. Nishioka, "Chapter 5. Impacts of Climatic Change on Human Settlement, the Energy, Transport and Industrial Sectors, Human Health and Air Quality, and Likely Impacts of Changes in Ultraviolet-B", abril de 1990, versión preliminar.
- Naciones Unidas (1990), *Climate and Development. Climatic Change and Variability and the Resulting Social, Economic and Technological Implications*, H.-J. Karpe, D. Otten y Sergio C. Trindade (comps.), Berlín, Springer-Verlag.
- \_\_\_\_\_ (1991a), *World urbanization prospects 1990. Estimates and projections of urban and rural populations and of urban agglomerations* (ST/ESA/SER.A/121), Nueva York. Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: 91.XIII.11.
- \_\_\_\_\_ (1991b), *Energy Statistics Yearbook, 1989* (ST/ESA/STAT/SER.J/33), Nueva York. Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: E/F.91.XVII.3.



- \_\_\_\_\_ (1992), *Cumbre para la Tierra. Convención sobre el Cambio Climático*, Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, Rio de Janeiro, 3 a 14 de junio de 1992, Nueva York.
- Neméc, J. (1990), "Climate and development: agriculture practices and water resources", *Climate and Development. Climatic Change and Variability and the Resulting Social, Economic and Technological Implications*, H.-J. Karpe, D. Otten y Sergio C. Trindade (comps.), Naciones Unidas, Berlín, Springer-Verlag.
- Neméc, J. y J. Schaake (1982), "Sensitivity of water resource systems to climate variation", *Journal of the Hydrological Sciences*, N° 27, citado en William E. Riebsame, *Assessing the Social Implications of Climate Fluctuations. A Guide to Climate Impact Studies*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Programa mundial de estudios del impacto del clima, 1989.
- Nicholls, N. (1991), *Summary of UNEP-sponsored Working Group on the Societal Impacts of El Niño-Southern Oscillation Events*, Bangkok, 4-7 de noviembre, citado en S. Nishioka, e I. Nazarov (comps.), "The energy; human settlement; transport and industrial sectors; human health; air quality; and changes in ultraviolet-B radiation", *Draft contribution to the 1992 IPCC supplement. Task 2: Prediction of the regional distributions of climate change and associated impact studies, including model validation studies. Supporting material (IPCC/WG-II/5th/Doc.4, Add.1 (15.I.1992))*, Organización Meteorológica Mundial (OMM), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (IPCC), IPCC Working Group II (Impacts), Ginebra, 1992.
- Nilsson, Annika (1992), *Greenhouse Earth*, Chichester, Reino Unido, Nueva York, John Wiley & Sons.
- Nordhaus, William D. (1991), "To slow or not to slow: the economics of the greenhouse effect", *The Economic Journal*, vol. 101, N° 407.
- OCDE (Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos) (1990), *Control Strategies for Photochemical Oxidants Across Europe*, París.
- OCDE/OIE (Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos/Organismo Internacional de Energía) (1991), *Greenhouse Gas Emissions. The Energy Dimension*, París.
- OMM/PNUMA/IPCC (Organización Meteorológica Mundial/Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos) (1990), "Overview and Conclusions. Climate Change: a Key Global Issue", julio, versión preliminar.
- \_\_\_\_\_ (1992), *1992 IPCC Supplement*, febrero.
- OMM/PNUMA/IPCC/WG I (Organización Meteorológica Mundial/Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos/Working Group I) (1990), "Policymakers Summary of the Scientific Assessment of Climate Change", junio.

- OMM/PNUMA/IPCC/WG III (Organización Meteorológica Mundial/Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos/Working Group III) (1990a), Response Strategies/Emissions Scenarios, "Draft Report of the Expert Group on Emissions Scenarios", abril.
- \_\_\_\_\_ (1990b) Response Strategies/Resource Use and Management Subgroup, "First Report on Adaptive Responses to Global Climate Change", 25 de abril.
- \_\_\_\_\_ (1990c) Response Strategies/Subgroup on Agriculture, Forestry, and Other Human Activities, "Draft Report and Draft Executive Summary".
- OPS (Organización Panamericana de la Salud) (1990), *Health Conditions in the Americas. Environmental Problems Affecting Health*, Washington, D.C.
- OPS/OMS/Programa de Salud Ambiental (Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud) (1992), *Environmental Health and the Management of Fresh Water Resources in the Americas*, Environmental Series, N° 10, Henk W. de Koning (comp.), Washington, D.C.
- Osmond, C.B., O. Bjorkman y D.J. Anderson (1980), "Physiological processes in plant ecology: towards a synthesis with Atriplex", *Ecological Studies*, vol. 36, Berlín, Springer-Verlag, citado en Sergio E. Oxman, (Kien Consultores) (1991), *Chile: Strategy on Ozone Layer Protection. A Case Study on the Cost of Implementing the Montreal Protocol*, primera edición, Santiago de Chile, mayo.
- Parry, M.L., G.V. Mendzhulin y S. Sinha (comps.) (1990), "Chapter 2. The Potential Impact of Climate Change on Agriculture and Forestry", abril, versión preliminar.
- Parry, M.L. y N.J. Read (1988), *The Impact of Climatic Variability on U.K. Industry*, Atmospheric Impacts Group, Birmingham, Reino Unido, University of Birmingham, citado en M. Hashimoto, M. Styrikovich y S. Nishioka (1990), "Chapter 5. Impacts of Climatic Change on Human Settlement, the Energy, Transport and Industrial Sectors, Human Health and Air Quality, and Likely Impacts of Changes in Ultraviolet-B", abril de 1990, versión preliminar.
- Parry, M. y O. Sirotenko (comps.) (1992), "Agriculture and forestry", *Draft contribution to the 1992 IPCC supplement. Task 2: Prediction of the regional distributions of climate change and associated impact studies, including model validation studies. Supporting material (IPCC/WG-II/5th/Doc.4, Add.1 (15.I.1992))*, Organización Meteorológica Mundial (OMM), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (IPCC), IPCC Working Group II (Impacts), Fifth Session, Ginebra, 6-7 de febrero.
- Parry, Martin y Timothy Carter (1990), "Some strategies of response in agriculture to changes of climate", *Climate and Development. Climatic Change and Variability and the Resulting Social, Economic and Technological Implications*, H.-J. Karpe, D. Otten y Sergio C. Trindade (comps.), Naciones Unidas, Berlín, Springer-Verlag.

- Pearce, David (1991), "Evaluating the socio-economic impacts of climate change: an introduction", *Climate Change. Evaluating the Socio-economic Impacts*, París, Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE).
- Pearcy, R.W. y O. Bjorkman (1983), "Physiological effects, CO<sub>2</sub> and plants: the response of plants to rising levels of atmospheric CO<sub>2</sub>", E.R. Lemon (comp.), Boulder, Colorado, Westview Press, citado en Brent C. Jacobs, "CO<sub>2</sub>, climate change and crop physiology in the South Pacific", *Global Warming-related Effects on Agriculture and Human Health and Comfort in the South Pacific*, Philip J. Hughes y Glenn McGregor (comps.), Port Moresby, University of Papua New Guinea, 1990.
- Peters, Robert L. y J.P. Myers (1991-1992), "Preserving biodiversity in a changing climate", *Issues in Science and Technology*, vol. 8, N° 2.
- Peterson, Dean F. y Andrew A. Keller (en prensa), "Irrigated agriculture", *Climatic Variability, Climate Change, and the Planning and Management of U.S. Water Resources*, American Association for the Advancement of Science (AAAS), Nueva York, John Wiley & Sons, citado en Sandra Postel, *Water for Agriculture: Facing the Limits*, Worldwatch Paper, N° 93, 1989.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) (1989a), *Environmental Data Report*, segunda edición 1989/1990, Londres, GEMS Monitoring and Assessment Research Centre, Instituto de Recursos Mundiales y Department of the Environment del Reino Unido.
- \_\_\_\_\_ (1989b), *Action on Ozone*, Nairobi.
- \_\_\_\_\_ (1989c), "Perspectiva regional sobre los problemas y prioridades ambientales que afectan los recursos costeros y marinos de la región del Gran Caribe", *Informe Técnico del PAC N° 2*, Programa Ambiental del Caribe (PAC) del PNUMA, Kingston, Jamaica.
- \_\_\_\_\_ (1989d), "Criteria for Assessing Vulnerability to Sea Level Rise: A Global Inventory to High Risk Areas", Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Gobierno de los Países Bajos, versión preliminar, citado en M.L. Parry, G.V. Mendzhulin y S. Sinha (comps.), "Chapter 2. The Potential Impact of Climate Change on Agriculture and Forestry", abril de 1990, versión preliminar.
- \_\_\_\_\_ (1992), *The state of the environment (1972-1992). Saving our planet. Challenges and hopes* (UNEP/GCSS.III/2), Nairobi.
- PNUMA/CPPS (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Comisión Permanente del Pacífico Sur) (1991), *Efectos de los cambios climáticos en los ecosistemas costeros y marinos del Pacífico Sudeste*, Plan de Acción para la Protección del Medio Marino y Areas Costeras del Pacífico Sudeste, Informe del Grupo de Trabajo Regional, Segunda Reunión, Santiago de Chile.
- Policy Implications of Greenhouse Warming-Synthesis Panel (1991), *Policy Implications of Greenhouse Warming*, Washington, D.C., National Academy Press.
- Postel, Sandra (1989), *Water for Agriculture: Facing the Limits*, Worldwatch Paper, N° 93.

- Rasmusson, Eugene M. (1987), "Global prospects for the prediction of drought: a meteorological perspective", *Planning for Drought. Toward a Reduction of Societal Vulnerability*, Donald A. Wilhite, William E. Easterling y Deborah A. Wood (comps.), Boulder, Colorado, Westview Press.
- Riebsame, William E. (1989), *Assessing the Social Implications of Climate Fluctuations. A Guide to Climate Impact Studies*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Programa mundial de estudios del impacto del clima.
- \_\_\_\_\_ (1990), "Anthropogenic climate change and a new paradigm of natural resource planning", *The Professional Geographer*, vol. 42, N° 1.
- Rijsberman, Frank (1991), "Potential costs of adapting to sea level rise in OECD countries", *Responding to Climate Change: Selected Economic Issues*, Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), París.
- Rind, D. y S. Lebedeff (1984), *Potential Climatic Impacts of Increasing Atmospheric CO<sub>2</sub> with Emphasis on Water Availability and Hydrology in the United States*, Washington, D.C., Government Printing Office, citado en John E. Bardach, *Coastal Zone Activities and Sea Level Rise*, Environment and Policy Institute, East-West Center, Working Paper, N° 11, Honolulu, 1988.
- Rockner, E. y otros (1987), "Cloud optical depth feedback and climate modelling", *Nature*, N° 329, citado en H.N. Le Houérou, "Climatic change and desertization", *Impact of Science on Society*, N° 166, vol. 42, N° 2, 1992.
- Rosenberg, Norman J. (1986), *A Primer on Climatic Change: Mechanisms, Trends and Projections*, serie Discussion Paper, N° RR86-04, Resources for the Future, Washington, D.C.
- \_\_\_\_\_ (1987), "Drought and climate change: for better or worse?", *Planning for Drought. Toward a Reduction of Societal Vulnerability*, Donald A. Wilhite, William E. Easterling y Deborah A. Wood (comps.), Boulder, Colorado, Westview Press.
- Rosenberg, Norman y otros (1989), *Policy Options for Adaptation to Climate Change. A Study from Resources for the Future Climate Resources Program*, serie Discussion Paper ENR 89-05, Washington, D.C., Resources for the Future.
- Rosenzweig, Cynthia (1990), "Crop response to climate change in the southern Great Plains: a simulation study", *The Professional Geographer*, vol. 42, N° 1.
- Royer, J.F. y J.F. Mahfouf (1992), "Consequences of an increase in the greenhouse effect", *The Courier*, N° 133.
- Ryan, John C. (1992), *Life support: conserving biological diversity*, Worldwatch Paper, N° 108.
- Sagardoy, J.A., A. Bottrall y G.O. Uittenbogaard (1982), *Organization, Operation and Maintenance of Irrigation Schemes*, FAO Irrigation and Drainage Paper, N° 40, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma.

- Salati, E. (consultor) (1990), *Los posibles cambios climáticos en América Latina y el Caribe y sus consecuencias* (LC/L.580(Sem.56/4)), Santiago de Chile, CEPAL.
- Schaake, John C. (1990), "From climate to flow", *Climate Change and U.S. Water Resources*, Paul E. Waggoner (comp.), Nueva York, John Wiley & Sons.
- Schelling, Thomas C. (1992), "Some economics of global warming", *The American Economic Review*, vol. 82, N° 1, marzo.
- Schlesinger, M.E. (1984), "Climate model simulations of CO<sub>2</sub>-induced climatic change", *Advances in Geophysics*, vol. 26, citado en M.I. Budyko y K.Ya. Vinnikov, "Influence of global climatic changes on water resources", *Methodology for Distinguishing between Man's Influence and Climatic Effects on the Hydrological Cycle*, J.C. Refsgaard, W.M. Alley y V.S. Vuglinsky (comps.), IHP-III Project 6.3, Technical Documents in Hydrology, París, Programa Hidrológico Internacional (PHI), Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 1989.
- Schlesinger, M.E. y J.F.B. Mitchell (1985), "Model projections of equilibrium response to increased CO<sub>2</sub> concentration", *Projecting the climatic effects of increased CO<sub>2</sub>* (DOE/ER-0237), M.C. MacCracken y F.M. Luther (comps.), Washington, D.C., U.S. Department of Energy, citado en M.L. Parry, G.V. Mendzhulin y S. Sinha (comps.), "Chapter 2. The Potential Impact of Climate Change on Agriculture and Forestry", abril de 1990, versión preliminar.
- Schneider, Stephen H. y Norman J. Rosenberg (1989), "The greenhouse effect: its causes, possible impacts, and associated uncertainties", *Greenhouse Warming: Abatement and Adaptation*, Norman J. Rosenberg y otros (comps.), Washington, D.C., Resources for the Future.
- Schneider, Stephen H., Peter H. Gleick y Linda O. Mearns (1990), "Prospects for climate change", *Climate Change and U.S. Water Resources*, Paul E. Waggoner (comp.), Nueva York, John Wiley & Sons.
- Schwarz, H.E. y Lee A. Dillard (1990), "Urban water", *Climate Change and U.S. Water Resources*, Paul E. Waggoner (comp.), Nueva York, John Wiley & Sons.
- Secretaría del Commonwealth (1989), "Climate Change: Meeting the Challenge", Londres, citado en Tony Killick, "Policy-making under extreme uncertainty: developing country responses to global warming", *Journal of International Development*, vol. 4, N° 1, 1992.
- Seitz, F., R. Jastrow y W.A. Nierenberg (1989), *Scientific Perspective on the Greenhouse Problem*, George C. Marshall Institute, Washington, D.C., citado en William R. Cline, "Scientific basis for the greenhouse effect", *The Economic Journal*, vol. 101, N° 407, 1991.
- Shea, Cynthia Pollock (1988), *Protecting Life on Earth: Steps to Save the Ozone Layer*, Worldwatch Paper, N° 87.

- Sheer, D.P. (1985), "Managing water supplies to increase water availability", *National Water Summary. Hydrologic Events and Surface-water Resources*, U.S. Geological Survey, citado en Organismo de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos, *The Potential Effects of Global Climate Change on the United States. Draft. Report to Congress. Volume 1: Regional Studies*, Joel B. Smith y Dennis A. Tirpak (comps.), Washington, D.C., 1988.
- Simonis, Udo E. y Ernst U. von Weizsäcker (1990), "Global environmental problems", *Economics*, vol. 42.
- Singer, S. Fred (1992), "Rio's results recycled", *The Washington Times*, 3 de julio.
- Somlyódy, László (1991), "Water resources", *Options*, Instituto Internacional de Análisis Aplicado de Sistemas (IIASA), Laxenburg, Austria, diciembre.
- Sondhof, Harald (1992), "UNCED: no consensus on combating the greenhouse effect?", *Intereconomics*, vol. 27, N° 1, enero/febrero.
- Sotelo, Rómulo Jordán (1986), "The ecological and economic impacts of the El Niño phenomenon in the South-East Pacific", *El Niño Phenomenon and Fluctuations of Climate. Lectures Presented at the Thirty-sixth Session of the WMO Executive Council*, WMO, N° 649, Ginebra, Organización Meteorológica Mundial (OMM).
- Spencer, Roy W. y John R. Christy (1990), "Precise monitoring of global temperature trends from satellites", *Science*, vol. 247.
- Street, R.B. y S.M. Semenov (1990), "Chapter 3. Environmental Impacts and Socioeconomic Consequences of Climatic Changes for Natural Terrestrial Ecosystems", abril, versión preliminar.
- Street, R.B., S.M. Semenov y C.H.D. Magadza (1992), "Natural terrestrial ecosystems", *Draft contribution to the 1992 IPCC supplement. Task 2: Prediction of the regional distributions of climate change and associated impact studies, including model validation studies. Supporting material* (IPCC/WG-II/5th/Doc.4, Add.1 (15.I.1992)), IPCC Working Group II (Impacts), Organización Meteorológica Mundial (OMM), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (IPCC), Ginebra.
- Teramura, A.H. y J.H. Sullivan (1991), "Potential impacts of increased solar UV-B on global plant productivity", *Photobiology*, E. Riklis (comp.), Nueva York, Plenum Press, citado en S. Nishioka e I. Nazarov (comps.), "The energy; human settlement; transport and industrial sectors; human health; air quality; and changes in ultraviolet-B radiation", *Draft contribution to the 1992 IPCC supplement. Task 2: Prediction of the regional distributions of climate change and associated impact studies, including model validation studies. Supporting material* (IPCC/WG-II/5th/Doc.4, Add.1 (15.I.1992)), Organización Meteorológica Mundial (OMM), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (IPCC), IPCC Working Group II (Impacts), Ginebra, 1992.

- Titus, James, G. y otros (1992), "Greenhouse effect and sea level rise: potential loss of land and the cost of holding back the sea", *Coastal Management*, citado en William R. Cline, *The Economics of Global Warming*, Washington, D.C., Institute for International Economics, 1992.
- Tsyban A., J. Everett y M. Perdomo (1992), "World oceans and coastal zones", *Draft contribution to the 1992 IPCC supplement. Task 2: Prediction of the regional distributions of climate change and associated impact studies, including model validation studies. Supporting material* (IPCC/WG-II/5th/Doc.4, Add.1 (15.I.1992)), IPCC Working Group II (Impacts), Organización Meteorológica Mundial (OMM), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (IPCC), Ginebra.
- Tsyban, A. y J. Titus (comps.) (1990), "Chapter 6. World Oceans and Coastal Zones", abril, versión preliminar.
- UNESCO/PHI/MAB (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura/Programa Hidrológico Internacional/Programa sobre el Hombre y la Biosfera) (1991), *The Disappearing Tropical Forests. Water-related Issues and Problems of the Humid Tropics and other Warm Humid Regions*, París, mayo.
- Vargas, Walter M. y Mario N. Núñez (1989), "Interacciones del clima y la sociedad", *Boletín Informativo Techint*, N° 256, enero-febrero.
- Vellinga, P. y Stephen P. Leatherman (sin fecha), "Sea-level rise, consequences and policies", *Climatic Change*, vol. 15, citado en Instituto Mundial de Recursos, *World Resources 1990-1991*, Nueva York, Oxford University Press, 1990.
- Wall, G. (sin fecha), "Implications of climatic change for tourism and recreation in Ontario", *Climate Change Digest* (CCD 88-05), Ottawa, Environment Canada, citado en R.B. Street y S.M. Semenov, "Chapter 3. Environmental Impacts and Socioeconomic Consequences of Climatic Changes for Natural Terrestrial Ecosystems", abril de 1990, versión preliminar.
- Watson, R. y otros (1990), "Section 1. Greenhouse Gases and Aerosols. Peer Reviewed Assessment for WG1 Plenary", 25 de abril.
- Weihe, W.H. (1990), "Climate change and human health", *Climate and Development. Climatic Change and Variability and the Resulting Social, Economic and Technological Implications*, H.-J. Karpe, D. Otten y Sergio C. Trindade (comps.), Naciones Unidas, Berlín, Springer-Verlag.
- White, M.R. e I. Hertz-Picciotto (1985), "Human health: analysis of climate related to climate", *Characterization of information requirements for studies of CO<sub>2</sub> effects: water resources, agriculture, fisheries, forests, and human health* (DOE/ER/0236), M.R. White (comp.), Department of Energy, Washington, D.C., citado en Estados Unidos, Organismo de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos, *The Potential Effects of Global Climate Change on the United States. Draft. Report to Congress. Volume 1: Regional Studies*, Joel B. Smith y Dennis A. Tirpak (comps.), Washington, D.C., 1988.

- Wind, H.G. (comp.) (1987), *Impact of Sea Level Rise on Society: Report of a Project-planning Session*, Rotterdam, Netherlands-Brookfield, Vt., A.A. Balkema, citado en Gjerrit P. Hekstra, "Sea-level rise: regional consequences and responses", *Greenhouse Warming: Abatement and Adaption*, Norman J. Rosenberg y otros (comps.), Climate Resources Program, Resources for the Future, Washington, D.C., 1989.
- World Climate News* (1993), "World Climate Data and Monitoring Programme. 1990 the warmest year yet", Organización Meteorológica Mundial (OMM), N° 2, Ginebra.
- WRI (Instituto Mundial de Recursos) (1990), *World Resources 1990-1991*, Nueva York, Oxford University Press.
- \_\_\_\_\_ (1992), *World Resources 1992-1993*, Nueva York, Oxford University Press.
- Zhao, Zong-ci y W.W. Kellogg (1988), "Sensitivity of soil moisture to doubling of carbon dioxide in climate model experiments. Part II: The Asian Monsoon Region", *Journal of Climate*, N° 1.
- Zillman, J.W. (1992), "The status of the science of global climate change", *International Conference on Coal, the Environment and Development: Technologies to Reduce Greenhouse Gas Emissions. Proceedings, Sydney, Australia, 18th-21st November 1991*, Organismo Internacional de Energía (IEA), Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), Australian Department of Primary Industries and Energy, Australian Coal Association, Banco Asiático de Desarrollo.
- Zuta, Salvador (1986), "The characteristics of the 1982/83 El Niño off the Pacific coast of South America", *El Niño Phenomenon and Fluctuations of Climate. Lectures Presented at the Thirty-sixth Session of the WMO Executive Council*, WMO, N° 649, Ginebra, Organización Meteorológica Mundial (OMM).