

Artículo publicado en el Repositorio Institucional del IMTA

<i>Título</i>	Cambio climático: posibles consecuencias y algunas sugerencias para disminuir su efecto en México.
<i>Autor / Adscripción</i>	Martín Dagoberto Mundo Molina Poliopro Martínez Austria Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
<i>Publicación</i>	Ingeniería Hidráulica en México, (1): 14-28
<i>Fecha de publicación</i>	1993
<i>Resumen</i>	En este trabajo se describen los principales efectos potenciales del cambio climático en diferentes actividades del ser humano con la finalidad de presentar, posteriormente, un estudio más detallado sobre los efectos potenciales del cambio climático en la disponibilidad de agua en las zonas semiáridas de nuestro país. Se toma como base la hipótesis más aceptada conforme a la evidencia física de que el incremento de los gases de invernadero ha originado el sobrecalentamiento de la Tierra
<i>Identificador</i>	<a href="http://hdl.handle.net/123456789/1194">http://hdl.handle.net/123456789/1194</a>

# Cambio climático: posibles consecuencias y algunas sugerencias para disminuir su efecto en México

Martín Dagoberto Mundo Molina  
Polioptro Martínez Austria

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, CNA

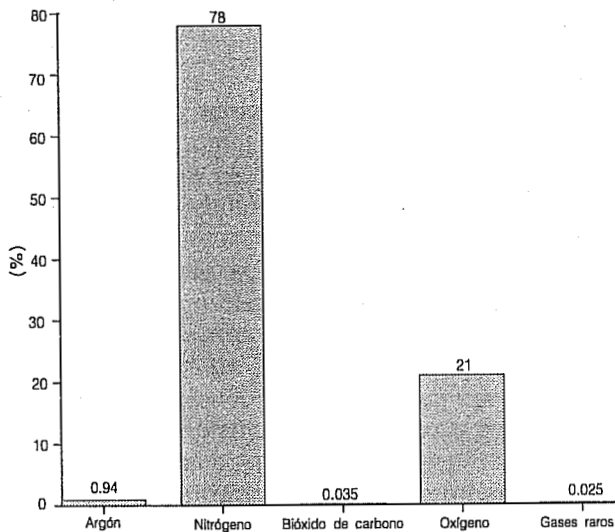
*En fechas recientes se ha vuelto de interés público un tema hasta hace algunos años sólo de relevancia para los científicos: el calentamiento global de nuestro planeta. De hecho, fue uno de los temas más controvertidos en la reciente Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro. A partir de la revolución industrial, se ha incrementado la emisión a la atmósfera de gases que producen el efecto de invernadero a consecuencia del uso y la transformación de la energía y el uso de combustibles fósiles, principalmente. Esto ha provocado un incremento en la temperatura media global de la Tierra, dada la correlación entre una mayor presencia de gases de invernadero y el incremento de la temperatura media global, que obedece a una ley sencilla: a mayor cantidad de gases de invernadero mayor atrapamiento de energía, que a su vez origina mayor calentamiento. Según la información proveniente de las redes de observación que la Organización Meteorológica Mundial (OMM) tiene distribuidas en el planeta, durante los últimos 100 años se han registrado variaciones de entre 0.3 y 0.6 °C. Se acepta sin discusión que el bióxido de carbono ha aumentado en un 28%, el metano en un 100%, el óxido nítrico en un 9% y los clorofluorocarbonados (CFC) hasta en un 1300%. La hipótesis más aceptada conforme a la evidencia física es que el incremento de estos gases ha originado el sobrecalentamiento de la Tierra. Por otra parte, la creciente presión sobre los recursos hidráulicos, motivada por la combinación del aumento en la demanda (mayor población, industrialización y nivel de vida, principalmente) con la disminución de la oferta del agua (por agotamiento de fuentes y contaminación, entre otras razones) prefigura una auténtica crisis de escasez que algunos expertos piensan será de gran magnitud y de alcance global. En este trabajo se describen los principales efectos potenciales del cambio climático en diferentes actividades del ser humano con la finalidad de presentar, posteriormente, un estudio más detallado sobre los efectos potenciales del cambio climático en la disponibilidad de agua en las zonas semiáridas de nuestro país.*

## La atmósfera y el ciclo del carbono

La atmósfera seca (sin humedad) está compuesta por una mezcla de gases de los que en porcentaje, el nitrógeno y el oxígeno, principales componentes, constituyen el 78% y el 21%, respectivamente; sólo el 1% está compuesto por otros gases como: argón (0.94%) y bióxido de carbono (0.035%), el resto lo constituyen los denominados gases raros:

helio, metano, hidrógeno, ozono, neón y xenón (véase ilustración 1). De esta mezcla de gases, es decir, el aire que respiramos, depende íntegramente la vida en nuestro planeta. También forman parte de la atmósfera (contenida en el 1%), el vapor de agua, partículas microscópicas, esporas vegetales, granos de polen y cenizas. Comparada con el tamaño de la Tierra, esta capa de aire, denominada atmósfera, sólo es una delgada

### 1. Gases componentes de la atmósfera



película, y se considera como límite superior (cima) una distancia media de 50 km a partir de la superficie del planeta. Es en esta delgada película donde se desarrollan las más diversas formas de vida, gracias a un ciclo natural denominado "ciclo del carbono", que tiene como fuente principal la energía solar.

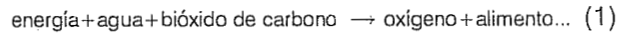
Para entender el funcionamiento de este ciclo y el porqué de las predicciones de su posible alteración (que se supone se manifestará con cambios en la temperatura media de la superficie de la Tierra), será necesaria una breve explicación.

El Sol es la fuente principal de energía que alimenta al ciclo. En el núcleo del mismo, donde la temperatura se calcula en 17 000 000 °C, las presiones son tan grandes, que el hidrógeno y el helio (principales gases del núcleo) están tan comprimidos, que su densidad es 14 veces mayor que la del plomo (Pb); bajo estas condiciones, el hidrógeno se transforma en helio, lo que produce reacciones termonucleares que irradian y liberan gigantescas cantidades de energía en forma de luz y calor.

Una pequeña parte de la energía liberada por el Sol llega a la Tierra; de ella, aproximadamente el 60% es absorbida por la atmósfera (en forma de luz visible) y el 40% es reflejada o remitida al espacio. Del 60% que penetra a la atmósfera, 15% se queda en ésta y el 45% restante llega a la superficie terrestre como radiación difusa y directa. Parte de esta energía es absorbida por los vegetales, cuya mayoría contiene clorofila (pigmento verde de las plantas), que les permite elaborar su propio alimento, mediante la fotosíntesis (palabra griega que significa "juntar por medio de la luz"). En este

proceso juega un papel fundamental el 0.035% del bióxido de carbono contenido en la atmósfera.

En forma de ecuación, el ciclo se puede representar de la siguiente manera (Asimov, 1987) (véase ilustración 2):



### El efecto de invernadero

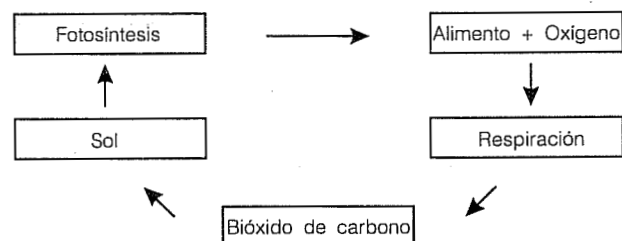
Para que el fenómeno fotosintético se realice, necesita la energía del Sol que se difunde al espacio desde esta estrella de la manera (Torres, 1984) mostrada en el cuadro 1.

Como puede observarse, el 99% de la radiación solar es de onda corta. Ciertas radiaciones de onda corta (rayos infrarrojos, cuadro 1) reemitidas por la superficie terrestre son atrapadas principalmente por tres gases en la atmósfera: bióxido de carbono ( $CO_2$ ), vapor de agua y ozono ( $O_3$ ), pero además, existen otros que atrapan dichas radiaciones y que también están presentes en la atmósfera como: óxido nitroso ( $NO_2$ ), metano ( $CH_4$ ), y clorofluorocarbonados.

Este fenómeno de atrapamiento en lugar de su escape al espacio hace que la superficie de la Tierra conserve una temperatura media de 15 °C; éste es el efecto benéfico natural del fenómeno de invernadero producido por estos gases. De no existir este efecto, la temperatura sería de -18 °C, lo que significa que estos gases mantienen (Bruce, 1990) a la Tierra 33 °C más caliente, lo que hace posible la vida en el planeta.

Por lo tanto, el efecto de invernadero (el término adecuado debería ser invernáculo si se quiere tener similitud entre el fenómeno atmosférico de atrapamiento de gases y el lugar cubierto [artificial] expresamente para mantener la temperatura interior más caliente) siempre ha existido y ha evolucionado igual que la Tierra misma, que a semejanza de un invernáculo, mantiene una temperatura interior más caliente.

### 2. Ciclo del carbono



## 1. Radiación solar

Tipo de Radiación	Longitud de onda (cm)	%
Rayos ultravioleta (invisible)	$3.9E-5 > \lambda$	9
Visible	$3.9E-5 < \lambda < 7.7E-5$	45
Rayos infrarrojos	$\lambda > 7.7E-5$	45
Onda larga	$.5E-4 < \lambda < 0.01$	1

## Incremento en la temperatura media global

A partir de la Revolución Industrial, en la atmósfera se ha incrementado la emisión de gases que producen el efecto de invernadero, principalmente a consecuencia del uso y transformación de la energía por combustibles fósiles. Se estima que esto ha originado un incremento en la temperatura media global de la Tierra, dada la correlación entre una mayor presencia de gases de invernadero y el incremento de la temperatura media global, que obedece a una ley física sencilla: a mayor cantidad de gases de invernadero, mayor atrapamiento de energía, lo que a su vez origina mayor calentamiento.

Según la información proveniente de las redes de observación que la OMM tiene distribuidas en todo el planeta (véase cuadro 2 e ilustración 3), durante los últimos 100 años se han registrado variaciones de entre 0.3 y 0.6 grados centígrados.

## 2. Redes de observación meteorológica

Sistema mundial de observación		
Red	Cantidad	
Estaciones de observación de la atmósfera superior	800	
Buques de observación	700	
Aviones de observación	3000	
Radares	600	
Boyas marinas fijas y a la deriva	200	
Satélites geoestacionarios y de órbita	7	

Sistema mundial de procesamiento de datos		
Red	Ciudad	País
Centro Meteorológico	Washington	EUA
Centro Meteorológico	Moscú	Rusia
Centro Meteorológico	Melbourne	Australia

## Causas del calentamiento

### Efectos antropogénicos

A partir de la Revolución Industrial, el hombre empezó a influir en el medio ambiente y en particular en la atmósfera de manera más notoria. El uso de combustibles fósiles, la deforestación, ciertas técnicas agrícolas, el incremento en la producción industrial, el uso ineficiente de diversas fuentes de energía, el uso de transportes consumidores de combustibles (terrestres y aéreos), la industria termoeléctrica, las actividades agrícolas, la extensión de zonas ganaderas, la continua extinción de los bosques y selvas, y la explosión demográfica, entre otros muchos factores, podrían ser la causa del incremento de gases de invernadero en la atmósfera, como bióxido de carbono, metano, óxido nítrico y CFC. Estos gases han aumentado su proporción en la atmósfera en los últimos 50 años de manera exponencial creciente, como puede verse en la ilustración 5.

La hipótesis que la mayoría de los investigadores y especialistas en el tema sostiene (como lo demuestra la gran cantidad de estudios, trabajos, reuniones, conferencias y *simposia* realizados en los últimos diez años) es que este aumento de gases de invernadero ha provocado un incremento en la temperatura media global.

En la ilustración 5 se observan las concentraciones de anhídrido carbónico, metano, óxido nítrico, y CFC que no exceden de 280 ppm, 800 ppb, 285 ppb y .02 ppb, respectivamente. En la misma ilustración conviene resaltar la tendencia exponencial en el incremento de estos gases.

En el caso del bióxido de carbono, actualmente se registran 354 ppm, metano 1700 ppb, óxido nítrico 310 ppb y CFC 0.28 ppb, lo cual indica una clara tendencia del incremento de estos gases en la atmósfera.

Se cree que del aumento en la temperatura media del planeta, el 61% es consecuencia principalmente de la emisión de  $CO_2$  (véase ilustración 6).

### Uso y transformación de la energía

El uso de la energía tiene beneficios inobjetable para el hombre, con enormes ventajas en favor de su bienestar, pero con el riesgo cada vez mayor de producir impactos ambientales no deseables. El cuadro 3 da una idea de los riesgos implícitos en el uso de diferentes métodos en la producción de

### 3. Redes de observación de la OMM en el mundo



energía; entre otras cosas, destaca la generación de gases contaminantes, principalmente el bióxido de carbono.

La dirección misma que el hombre ha dado a su sociedad, construida con el objetivo casi único de producir un mayor bienestar sin considerar las consecuencias, es la causa del deterioro ambiental.

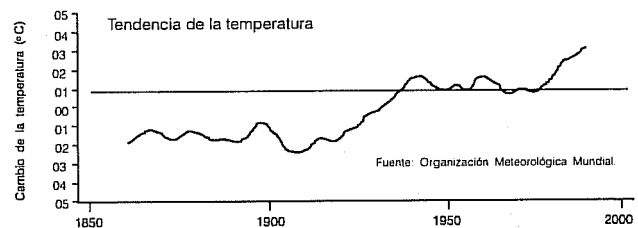
A la producción, transformación y consumo de la energía corresponde la mayor responsabilidad del incremento en la emisión de gases de invernadero. La tala inmoderada de bosques y selvas, así como las prácticas agrícolas inadecuadas juegan también un papel importante, y se cree que será más significativa en un futuro no muy lejano.

Una pregunta interesante, fuente de encontrados puntos de vista, es la relacionada con la con-

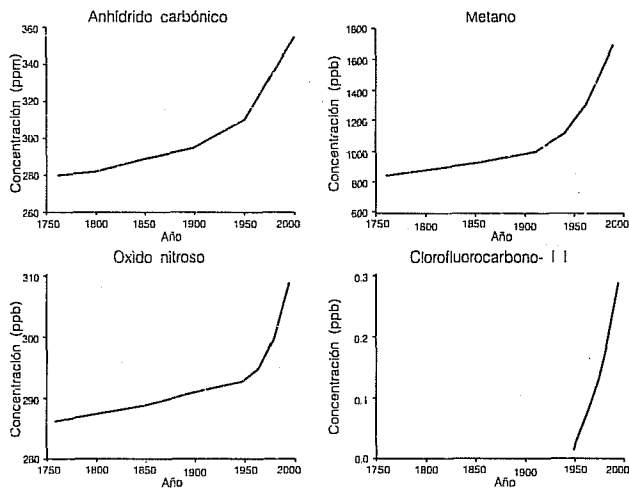
tribución por regiones a la producción de gases de invernadero: ¿Cuánto contaminan los países industrializados, principales consumidores de energía, y cuánto los países del Tercer Mundo?

Actualmente, los países industrializados son responsables de más del 50% de las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera; sólo los

### 4. Variación en la temperatura media global en los últimos 100 años



### 5. Gases de invernadero y su incremento en los últimos 50 años



Fuente: Organización Meteorológica Mundial

Estados Unidos de Norteamérica y la Comunidad Económica Europea producen el 49% del bióxido de carbono mundial (por uso y transformación de diferentes tipos de energía, principalmente combustibles fósiles) y los países del Tercer Mundo son responsables de la deforestación (por quema de bosques), ya que se liberan 1 398 millones de toneladas anuales (Macera, 1991).

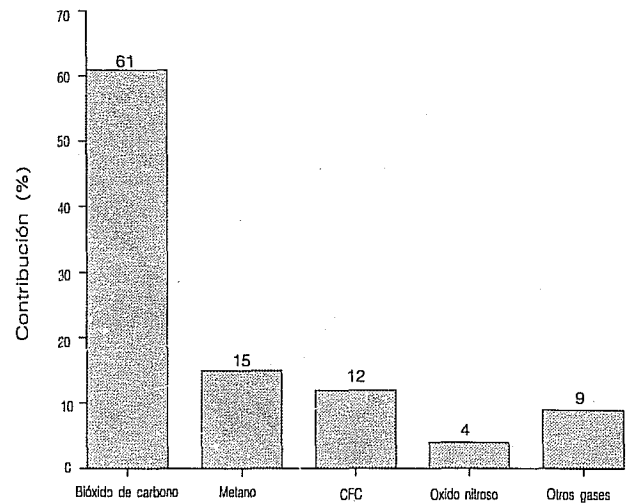
En lo que respecta a México, aunque su contribución no es grande (sin embargo no es despreciable), está clasificado entre los 20 países que emiten más gases de invernadero en el mundo (Macera, 1991) (véase ilustración 7).

### Deforestación y cambios en el uso del suelo

En los últimos 100 años se han despejado más terrenos para cultivos agrícolas que en toda la historia de la humanidad (Bruce, 1990). Cada año se destruyen en todo el mundo de 11 mil a 13 860 millones de hectáreas de bosques tropicales para dedicarlas a la agricultura (FAO, 1989).

La deforestación de las tierras para destinarlas a la agricultura y ganadería, así como los incendios, causan efectos nocivos en la atmósfera, reduciendo la cantidad de oxígeno y contribuyendo a la emisión de  $CO_2$  al ambiente; también aumenta la generación de metano  $CH_4$ , procedente del suelo y de las actividades agrícolas, ya que los residuos orgánicos en un campo agrícola o bosque talado (vegetales, estiércol, basura, etc), por la acción de microorganismos anaerobios del suelo, transforman las moléculas más sencillas, desprendiéndose gas metano en el proceso.

### 6. Contribución de gases al calentamiento de la atmósfera



Fuente: Macera C. Omar

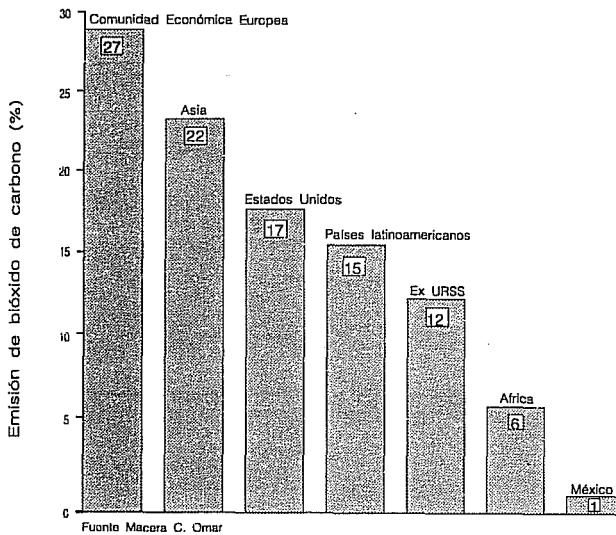
De los 6 000 millones de hectáreas de bosques que originalmente existían en la Tierra, sólo quedan aproximadamente 4 000 millones (Bruce, 1990). Hay pérdidas tanto de bosques boreales como tropicales. Según expertos en el tema, entre el 10 y el 20% del problema del calentamiento global proviene de la destrucción de estas zonas. La ganadería extensiva también influye en la contaminación atmosférica (no se tiene una evaluación cuantitativa confiable) ya que el estiércol produce gas metano por la acción de las bacterias anaerobias.

Como dato de referencia, para tener una idea del volumen de gas producido en una finca ganadera, se puede mencionar que una vaca produce aproximadamente 20 kg de estiércol al día lo que a su vez genera alrededor de 1 m<sup>3</sup> de gas. Por

### 3. Tipos de contaminación que genera el uso de energía

Energía	Objetivo	Tipo de contaminación	Uso
Petróleo	Producción de energía por combustión	Generación de bióxido de azufre, óxido nítrico y $CO_2$	Aviones, autos, industria
Carbón	Producción de energía por combustión	Al aire, minas a cielo abierto, lluvia ácida, $CO_2$ y CO	Industria
Hidroeléctrica	Generación de electricidad mediante agua	Modificación del ambiente, cambio de microclimas, modificación en el uso de suelo	Doméstico, transportes, ciudades
Termoeléctrica	Generación de electricidad mediante vapor	Bióxido de azufre, partículas sólidas, óxido nítrico, bióxido de carbono, cenizas	Industria, doméstico, ciudades
Termoeléctrica de gas	Generación de electricidad mediante vapor	Óxido de nitrógeno, bióxido de carbono	Industria, doméstico, ciudades

#### 7. Contribución de bióxido de carbono en el mundo



lo tanto, una tonelada de estiércol puede producir 50 m<sup>3</sup> de gas. Un hato de 500 vacas puede producir, entonces, 500 m<sup>3</sup> de gas al día.

#### Organizaciones que estudian el cambio climático

Dada la amenaza potencial de un cambio climático, la movilización para prevenirlo o disminuirlo se ha generalizado. Acuerdos, conferencias, simposios, reuniones de todo tipo, instituciones y estudios especializados se multiplican (véanse cuadros 4 y 5).

Los estudios sobre el clima y la atmósfera se iniciaron prácticamente desde 1873, cuando se constituyó la Organización Meteorológica Internacional, que en 1950 se transformó en la OMM. Actualmente cuenta con 160 países miembros y su función es coordinar el intercambio de información acerca del clima. Un esbozo histórico (OMM, 1990) de su desarrollo se muestra en el cuadro 6.

#### El futuro: efectos del cambio climático

##### Escenarios

Una de las organizaciones más completas para el estudio del cambio climático es el Panel Intergubernamental sobre el Cambio del Clima (IPCC), creado y patrocinado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la OMM. Está integrado por especialistas en la materia que analizan la magnitud y las consecuencias físicas, económicas y sociales que podría ocasionar un cambio climático global. El IPCC está

#### 4. Conferencias y simposia sobre cambio climático

Nombre	Lugar y Año	Objetivo
Convención de la Comunidad Económica Europea	Ginebra, Suiza 1979	Acuerdos sobre la contaminación de aire a grandes distancias a través de la frontera.
Conferencia de Viena	Viena, Austria 1985	Convención mundial para la protección de la capa de ozono.
Conferencia de Vilach	Vilach, Austria 1985	Investigaciones sobre gases de efecto de invernadero.
Protocolo de Montreal	Montreal, Canadá 1987	Protección de la capa de ozono.
Conferencia Mundial sobre el Clima	Ginebra, Suiza 1988	Analizar aspectos diversos sobre el clima y la atmósfera.
Protocolo de Sofía	Sofía, Bulgaria 1988	Control de emisiones a través de las fronteras de óxidos de nitrógeno
Protocolo de Helsinki	Helsinki, Finlandia 1988	Reducción de emisiones de anhídrido sulfuroso.
Conferencia de Toronto	Toronto, Canadá 1988	Reducción de bióxido de carbono en un 20% a comienzos del próximo siglo.
Conferencia de La Haya	La Haya, Holanda 1989	Examen del problema de emisión de contaminantes y sus efectos.
Conferencia de Noordwijk	Noordwijk, Holanda 1989	Examen del problema de la emisión de contaminantes y sus efectos.
Conferencia de Ginebra	Suiza, Ginebra 1990	Análisis del problema de la emisión de contaminantes y sus efectos.
Conferencia de Santiago	Santiago de Chile, Chile, 1990	Análisis del tema: Desarrollo sustentable.
Conferencia de México	Ciudad de México, México, 1991	Discusiones sobre cambio climático global.
Conferencia de la ONU sobre ambiente y desarrollo	Río de Janeiro, Brasil 1992	Acuerdo multilateral: límite de la emisión de bióxido de carbono y gases de invernadero.

dividido en cuatro grupos de trabajo coordinados por los siguientes países: el Reino Unido evalúa información científica sobre cambios climáticos; Rusia mide efectos ambientales y socioeconómicos del cambio del clima; Estados Unidos prepara estrategias para enfrentar el problema; y Francia (comité especial), promueve la participación de países en las actividades del IPCC.

El grupo III (Estados Unidos), realizó un estudio de cuatro posibles escenarios con emisiones de gases de invernadero (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, CFC) y la respuesta atmosférica a estas emisiones en los próximos 100 años (véase ilustración 8).

Los escenarios se realizaron bajo las siguientes hipótesis (por mencionar las más importantes):

- La población mundial será aproximadamente de 10 500 millones de habitantes (Bruce, 1990) para el año 2092 (véase ilustración 9).
- Los países integrantes de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico tendrán

un crecimiento anual de 2 a 3% en el próximo decenio.

- Los países en desarrollo y de Europa oriental tendrán un desarrollo económico entre el 3 y el cinco por ciento.

En cada uno de estos escenarios se han supuesto diferentes medidas y condiciones de cambio climático. Los escenarios son los siguientes:

#### Escenario A o "situación habitual"

La mejor aproximación de incremento es de 3°C en los próximos 100 años, pero podría llegar a 5°C. Este escenario supone que:

- No se toman medidas para disminuir y controlar las emisiones de gases de invernadero.
- El carbón es la principal fuente de energía, continúan el deterioro y la tala de bosques y selvas.
- La expansión de la agricultura no sufre cambios y continúa.
- La emisión de CFC no se restringe.

#### Escenario B

Se calculan 2°C de incremento en la temperatura media global en los próximos 100 años.

- Se sustituye parcialmente el uso del carbón por gas natural.
- Control rígido de monóxido de carbono.
- Se implementan programas de forestación.
- Se aplican adecuadamente las restricciones en las emisiones de CFC.

#### Escenario C

Se estima en algo más de 1°C el incremento en los próximos 100 años.

- La principal fuente de energía es la nuclear.
- No existe emisión de CFC.
- Se pone en marcha el concepto de desarrollo agrícola sustentable.

#### Escenario D

Se estima cerca de 1°C de incremento en los próximos 100 años.

### 5. Organismos internacionales relacionados con el cambio climático

Organismo	Objetivo
IPCC* (Panel Intergubernamental sobre el cambio del clima), creado y patrocinado por el PNUMA y la OMM	Presidido por cuatro países: Francia: promueve la participación de países. Inglaterra: evalúa información científica. Rusia: mide efectos ambientales y socioeconómicos. EUA: prepara estrategias para enfrentar el problema.
FAO* (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)	Participa en el IPCC, en los grupos II y III y estudia la contribución de la deforestación en la emisión de bióxido de carbono.
CIUC (Consejo Internacional de Unión de Científicos) con sede en Francia	En 1969 creó el Comité de Científicos sobre Problemas Ambientales (SCOPE). Investiga la influencia humana sobre el ambiente y la sociedad. Se creó también el Programa Internacional de estudio geósfera-biófera.
OMS (Organización Mundial de la Salud)	Estudia aspectos sanitarios a consecuencia de un cambio climático y la posible difusión de enfermedades tropicales en las nuevas regiones.
Banco Mundial	Patrocina actividades en pro de un desarrollo sustentable.
PNUD* (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo)	Patrocina actividades en pro de un desarrollo sustentable.
EPA* (Agencia de Protección Ambiental), EUA	Estudia el costo de la reducción de emisiones de bióxido de carbono.
VMM (Vigilancia Meteorológica Global)	Intercambia información meteorológica y oceanográfica mundial.
VAG (Vigilancia Atmosférica Mundial)	Controla sistemas de medición de variables meteorológicas y del clima.
PMC (Programa Mundial del Clima)	Incrementa los datos de la VMM.

\* Las siglas corresponden a los nombres en inglés.

- En la primera mitad del próximo siglo se utilizará energía nuclear.
- Las concentraciones de gases de invernadero están estabilizadas.
- Existe una recuperación de bosques y selvas.
- Las actividades agrícolas reducen notoriamente sus emisiones a la atmósfera.

Los especialistas del IPCC estiman que si en este momento se estabilizan las emisiones de gases de invernadero, es probable que la temperatura siga incrementándose a un ritmo de 0.2°C por decenio y durante algunos decenios más.

#### Efectos

Los modelos climáticos predicen un recalentamiento mayor hacia los polos, con mayor impacto en el hemisferio norte (Bruce, 1990).



## 6. Esbozo histórico de la OMM

Fecha de creación	Organismo
1873	Organización Meteorológica Internacional, predecesora de la OMM.
Septiembre de 1929	Comisión de climatología.
1950	Inicio de la Coordinación Internacional para la Medición del Ozono.
1951	Primer congreso de la OMM.
1974	Creación del grupo de expertos del Comité Ejecutivo sobre Cambio Climático.
Febrero de 1979	VIII Congreso de la OMM.
Noviembre de 1988	Constitución del grupo del IPCC por el PNUMA.
1989	Creación de la Vigilancia Atmosférica Mundial.
1990	Primer informe de evaluación del IPCC en la Segunda Conferencia Mundial sobre el Clima.

Las posibles consecuencias del cambio climático que podrían esperarse, por mencionar las de mayor impacto, son:

### a) En la agricultura:

- Existe el consenso de que, si ocurre un cambio climático como el predicho por los modelos, la producción de cereales en las latitudes medias del hemisferio norte (Norteamérica y ex URSS), será seriamente afectada, debido a una elevada evaporación (Bruce, 1990).
- Se producirían cambios en la humedad del suelo debido a una mayor elevación de la evaporación, en las latitudes medias del hemisferio norte, lo que provocaría cambios en las necesidades hídricas de los cultivos y modificación de los calendarios de riego.
- Se prevé un mayor impacto en las zonas agrícolas temporaleras.
- Posibles cambios en los regímenes de precipitación en algunas zonas del planeta, lo que requeriría de una nueva cultura en el patrón de cultivos.
- Habría una mayor evaporación en las latitudes medias del hemisferio norte (que incluye el norte de nuestro país y la zona agrícola de California, EUA). Habría, por tanto, la posibilidad de cambio en los patrones de riego, en zonas

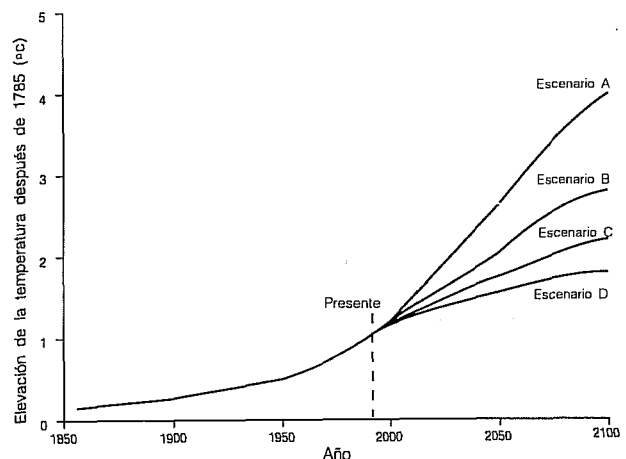
donde de por sí la escasez de agua es crítica en algunas temporadas del año.

- La disminución en la cobertura vegetal podría contribuir y retroalimentar el proceso de sequías.
- Cabe la posibilidad que al modificarse las condiciones de evaporación en las zonas afectadas, cambien a su vez los regímenes de precipitación y escurrimiento, lo cual tendría mayores impactos en las zonas agrícolas, tanto de riego como de temporal.

### b) En los océanos:

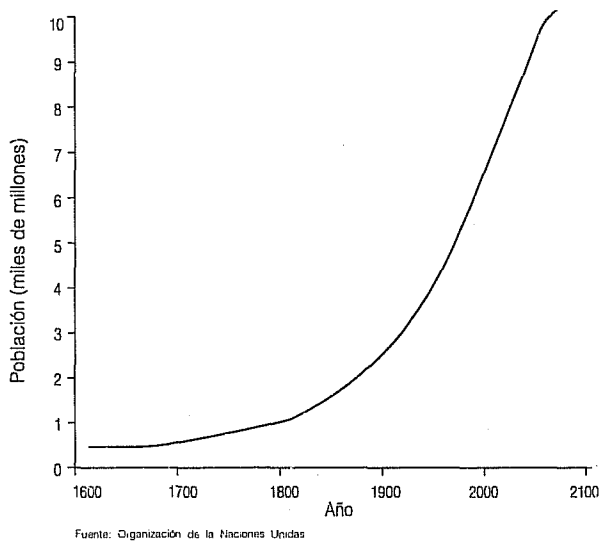
- Se estima que si ocurre un cambio climático (como el previsto), una de las consecuencias más graves, sobre todo para los países con bajas elevaciones, sería el incremento del nivel medio del mar. Este incremento será producto de la expansión térmica de los océanos, retroalimentados por la posible fusión o deshielo de los glaciares.
- Las predicciones del incremento del nivel del mar (OMM, 1990), (véase ilustración 10) de acuerdo con el grupo III del IPCC, se estiman en 6 cm por decenio para el próximo siglo; sin embargo, se muestran los posibles incrementos en los cuatro escenarios explicados en páginas anteriores (véase ilustración 11).
- Las estimaciones de algunos científicos auguran un incremento en el riesgo de inundaciones, sobre todo en los países bajos y deltas. Cabe comentar que las inundaciones están consideradas como la causa principal de desastres naturales en el mundo.

## 8. Escenarios del IPCC



Fuente: Organización Meteorológica Mundial

### 9. Proyección de la población mundial



- El incremento del nivel del mar podría causar contaminación en lagunas y esteros con agua salada, deteriorando lentamente estos ecosistemas.

Un cambio climático global como el predicho por los modelos tendría un impacto trascendente en todas las actividades del hombre y de los animales, ya que serían afectados los ecosistemas naturales, la silvicultura, la ganadería, la industria, y los recursos hidrológicos, por mencionar algunos renglones.

### México y el cambio climático

La oficina meteorológica del Reino Unido realizó simulaciones de precipitación, con un modelo de circulación general (MCG), considerando que el bióxido de carbono actual sería duplicado en el próximo siglo (lo que a la tasa actual de crecimiento es optimista). Los resultados se muestran en las ilustraciones 12 y 13. En éstas se pueden observar regiones en las cuales disminuiría la precipitación (zonas sombreadas), tanto en invierno como en verano.

México se encuentra en una zona en la que probablemente disminuiría la precipitación en invierno, por lo que podrían esperarse daños en la agricultura, sobre todo de temporal; éste es un punto muy importante, porque la mayor parte de la superficie de cultivo en nuestro país corresponde a agricultura de este tipo. La magnitud de los cambios esperados en México justifica estudios regionales debido a que la resolución de la malla

de cálculo de los modelos de circulación general no permiten mucho detalle.

Los cambios en la precipitación, evaporación y humedad del suelo, combinados con efectos de temperatura, pueden ocasionar cambios y modificaciones en el escurrimiento superficial.

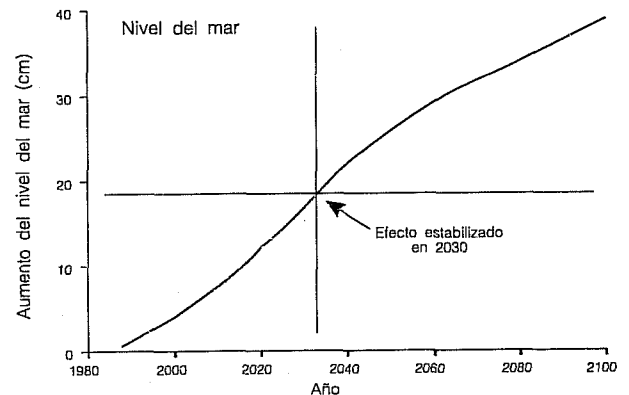
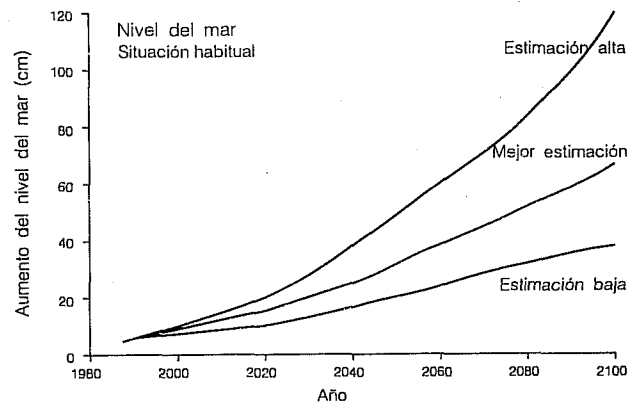
Como ejemplo de la magnitud en los cambios en la precipitación, se prevé (según Gleick, 1987), en la cuenca de Sacramento, California (EUA), una disminución de 10% en la precipitación, lo que, combinado con un incremento de 2°C, produciría una disminución de 68% en el escurrimiento de verano, y un incremento de 14% en el de invierno.

### La controversia

¿Por qué existe tanta controversia sobre el cambio climático global? Hay un debate importante entre ambientalistas, políticos e industriales. Mientras los primeros exigen actuar de inmediato en bien de la naturaleza, los grandes industriales y algunos políticos consideran importante esperar, para no crear mayores problemas económicos.

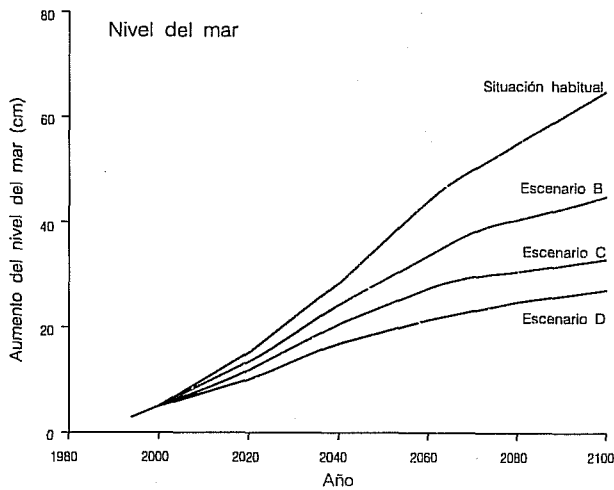
Disminuir la emisión de gases de invernadero y cambiar el uso actual de la energía representa un alto costo, incompatible con los intereses

### 10. Incremento en el nivel medio del mar



Fuente: Organización Meteorológica Mundial

### 11. Escenario del cambio climático y el incremento del nivel medio del mar



Fuente: Organización Meteorológica Mundial

económicos de muchas industrias y naciones. Se arguye que no existen pruebas irrefutables sobre el cambio del clima, lo que crea confusión en la opinión pública, a través de informaciones contradictorias en los medios de comunicación.

Por otro lado, están los estudiosos e investigadores del clima, científicos dedicados a observar y analizar cuantitativa y cualitativamente los factores climáticos. Las observaciones de estos factores muestran una correlación entre la emisión de gases de invernadero a la atmósfera y el calentamiento de la Tierra, lo que además, tiene un poderoso sustento físico, ya que obedece a una ley sencilla: a mayor cantidad de gases de invernadero, mayor calentamiento. Esto ha sido sugerido por varios estudios científicos en los últimos 10 años, entre los cuales se incluye el informe del Panel Intergubernamental del IPCC.

Sin embargo, los escépticos refutan los modelos del clima y la hipótesis del efecto de invernadero por emisión de gases contaminantes con base en las siguientes afirmaciones:

- Los periodos de observación son muy cortos, comparados con el tiempo de estabilización de las variables climáticas globales y la evolución de la atmósfera misma.
- Los modelos de circulación general se basan en suposiciones aún no verificadas sobre cómo responderían las nubes, los suelos, los bosques, los casquetes polares y los océanos al calentamiento global; sobre todo, los océanos, que podrían eventualmente (según los escépticos) reducir el supuesto calentamiento (Scheider, 1991).

- Existen fluctuaciones naturales del clima. El fenómeno de oscilación del sur mejor conocido como "El niño" es un ejemplo.
- Existen otros factores que provocan oscilaciones del clima en menor escala, como: cambios en la irradiación del sol y erupciones volcánicas, por ejemplo; la erupción del volcán Chichonal, en el estado de Chiapas, provocó una nube de cenizas que fue desplazada por el viento a miles de kilómetros de distancia (llegó a países de la ex URSS), provocando enfriamientos en varias zonas de esa parte del mundo. Por último, los cambios climáticos podrían atribuirse a cambios periódicos provocados por ciclos planetarios largos o por los ciclos de las manchas solares y mareas lunares nodales (Lluch *et al.*, 1991).

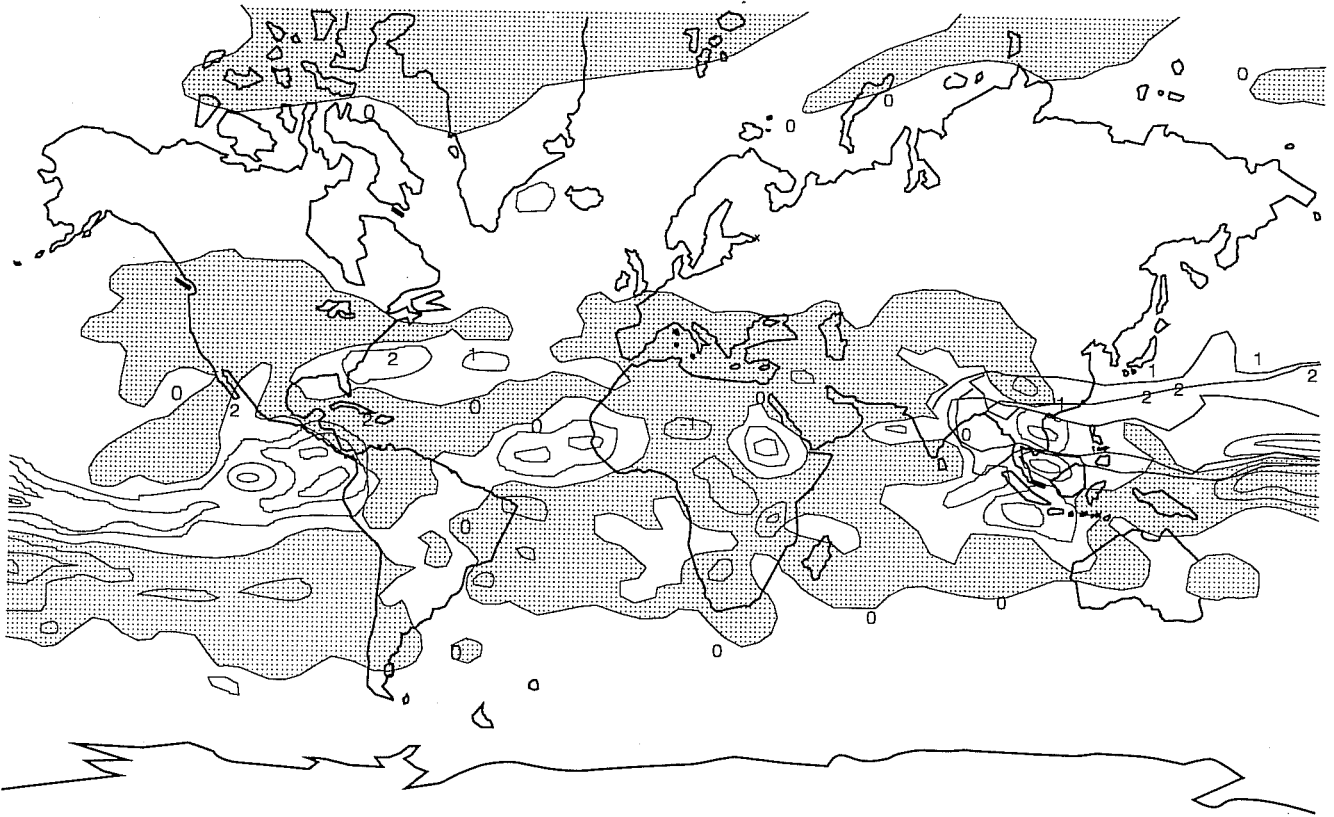
Las suposiciones anteriores, muchas de ellas especulaciones, tampoco prueban ni refutan el cambio climático global debido al incremento de gases de invernadero en la atmósfera. Lo que sí es claro y al respecto existe consenso entre la comunidad científica, es que la estabilidad del clima está dando paso a grandes cambios y en la actualidad existe un clima mucho más variable que en el pasado reciente (Lluch *et al.*, 1991).

La mayoría de los investigadores cree correcta la hipótesis del cambio climático por calentamiento global.

Se ha comprobado que la temperatura se ha elevado en 0.5°C entre 1980 y 1990 (si bien es cierto que no se ha probado irrefutablemente que es consecuencia de la emisión de gases de invernadero, aunque los modelos así lo predigan) y que se han atrapado dos vatios más de energía radiante (el calor de un foquito de navidad) por cada metro cuadrado de la superficie de Tierra. Para ejemplificar esta cantidad de calor, considérense 500 billones de focos de navidad separados un metro uno de otro circundando la Tierra (Scheider, 1991).

Esperar algunos años para comprobar sin lugar a dudas los modelos climáticos sería una posición arriesgada para la Tierra y los seres que la habitamos. Suponer que el cambio se debe a oscilaciones atmosféricas provocadas por diferentes factores, esperando la estabilización de las mismas, y permanecer escépticos, conlleva el mismo riesgo. Es necesario actuar y empezar a adoptar medidas para disminuir en lo posible la emisión de gases de invernadero a la atmósfera, y usar más eficientemente los recursos energéticos, así como los recursos naturales.

**12. Cambios calculados en la precipitación para el verano (junio, julio y agosto)**



**13. Cambios calculados en la precipitación para el invierno (diciembre, enero y febrero)**



Para los optimistas, o quienes juzgan que se manejan hipótesis e imágenes catastróficas, conviene anotar que los modelos del clima tienen igual probabilidad de ser demasiado conservadores, como de ser radicales. Así que, si ocurre un cambio climático en la escala manejada por el grupo del IPCC, de 2 a 5°C, tendría consecuencias severas en todas las actividades humanas, principalmente la agricultura, fuente de sustento del hombre. La producción de cereales se vería drásticamente disminuida y el incremento de hambrunas afectaría a una población cada vez más grande.

El análisis del comportamiento de los sistemas agrícolas, suelo y cultivos, ante diferentes condiciones de incrementos de temperatura y, en general, del clima, es un buen camino para empezar a proponer soluciones. Este tema no sólo es de interés científico, sino que nos incumbe a todos y servirá para establecer un plan adecuado de prevención ante diferentes situaciones que tarde o temprano tendrán que presentarse.

### Algunas sugerencias para el control de las emisiones de gases de invernadero

La mejor actitud que se puede tomar para contrarrestar las emisiones de gases de invernadero y controlar de alguna manera los escenarios más críticos y severos del posible calentamiento global es estar preparados y actuar de inmediato.

La actitud más desfavorable sería permanecer en estado de espera: que los modelos climáticos actuales mejoren, esperar algunos años más para tener datos suficientes y confiables, periodos de medición y observación más largos. Quizá algunos años más tarde, la inercia del posible fenómeno de calentamiento sea más difícil de controlar.

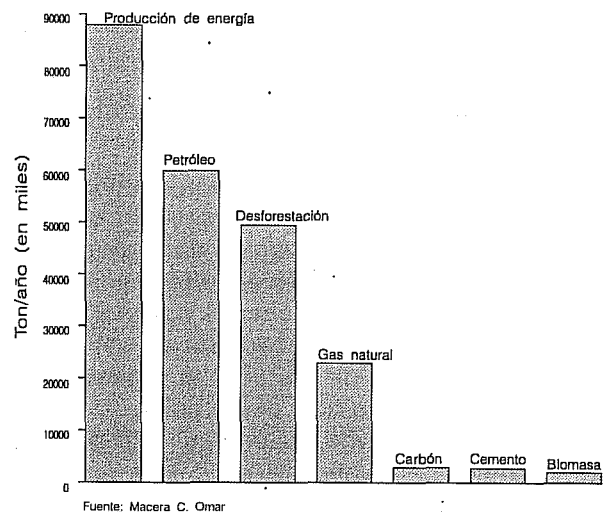
Si bien es cierto que los modelos actuales tienen algunas limitaciones, la cotidianeidad, las estaciones de medición y observaciones meteorológicas en todo el mundo indican que estamos viviendo una época en la cual la estabilidad atmosférica está dando paso a una serie de cambios, que de alguna forma se están prediciendo en forma teórica a través de modelos climáticos, por lo que es necesario actuar desde ahora. A continuación se sugieren algunas acciones que se pueden adoptar en beneficio de nuestro medio y de nosotros mismos.

### En el uso de la energía

México emite aproximadamente 87 500 t de bióxido de carbono al año, que representan el 63% de la emisiones totales de este gas, debido a la producción y uso de energía (Macera, 1991) (véase ilustración 14).

1. Algunos estudios hechos en los Estados Unidos de Norteamérica sugieren que se puede reducir la emisión de bióxido de carbono a la atmósfera hasta en un 25% a mediano plazo sin costos tan elevados, como los críticos del calentamiento global suponen. La eliminación de los subsidios que los gobiernos ofrecen en el uso de combustibles fósiles sería una táctica adecuada, para tender a establecer costos reales, que además reflejen el daño potencial a la ecología.
2. Se deberá determinar el pago de impuestos a las industrias contaminantes que no cumplan con los reglamentos sobre emisiones al medio ambiente, que reflejen de algún modo el daño ecológico.
3. Tan sólo en la zona metropolitana de la ciudad de México, 2.5 millones de automóviles consumen diariamente un promedio de 20 millones de litros de combustible. La adopción de tecnología nueva (convertidores catalíticos) y la reducción de consumo de combustible por vehículo es una opción para el uso eficiente de este tipo de energía. En los Estados Unidos se han realizado pruebas de consumo de combustible hasta de la tercera parte del promedio actual por automóvil (Bruce, 1990);

14. Emisión de bióxido de carbono en México (miles de ton/año)



la adopción de este tipo de tecnología se justifica, dado el beneficio esperado.

4. El cambio de uso de bombillas incandescentes al vacío, por bombillas fluorescentes, es una opción para ahorrar energía en el área doméstica. El promedio de uso en watts de las primeras es de 60, en relación con 20 vatios de las segundas (además que se consigue una mejor iluminación). Aunque la inversión inicial (en cuanto al costo de las lámparas fluorescentes) es superior, se amortiza con el tiempo.
5. La adopción de tecnología nueva en refrigeración comercial, industrial y doméstica, presenta también una buena opción de baja emisión de CFC. En el mercado norteamericano existen aparatos de refrigeración que no utilizan CFC.
6. Habría que planear un cambio gradual hacia el uso de otras fuentes de energía. México es potencialmente adecuado para el uso de dos fuentes alternativas de energía, la solar y la eólica, que son menos dañinas al medio ambiente.
7. Energía solar. Gracias a su latitud geográfica, nuestro país podría beneficiarse con un cambio gradual hacia el uso de la energía solar fotovoltaica, que no ha sido aprovechada. Más que por sus limitaciones técnicas (pocas) o económicas en la actualidad, su uso a futuro dependerá en mayor medida de la disponibilidad (o indisponibilidad) del petróleo, gas u otras fuentes de energía, ahora comunes. Este tipo de energía tiene una diversidad de posibles aplicaciones, que se debería empezar a tomar en cuenta en México, ya que algunas de ellas se están aplicando actualmente en otros países, reduciendo de este modo su dependencia de otras fuentes de energía dañinas al medio.

– Electrificación rural

El alto costo de la instalación de redes convencionales en poblaciones rurales semiaisladas (o aisladas), debido a la topografía o a la situación económica, ofrece una buena opción para uso de energía solar fotovoltaica. A partir de la década de los setenta, la simplificación de partes y la reducción de costos en este tipo de tecnologías, culminaron en nuevos materiales, que abarataron significativamente las celdas solares y demás componentes del generador fotovol-

taico (Mompin, 1986a), lo que las ha hecho más competitivas en el uso de sistemas comunes de generación.

– En el área agrícola y ganadera

El sistema de electrificación solar fotovoltaica en granjas ganaderas ofrece una buena opción para la implantación de este tipo de energía. En las zonas agrícolas bajo riego, esta energía es ideal para la alimentación de sistemas de bombeo y riego (goteo, aspersión, etc). Por ejemplo, en Nebraska EUA, existe un sistema solar fotovoltaico capaz de alimentar un sistema de riego diseñado para 33 hectáreas, con una potencia de 25 kw (Mompin, 1986b).

– En la industria

El sector industrial consume más del 50% de la electricidad producida en México. Durante 1980, por ejemplo, cada industria consumió en promedio la energía equivalente a la utilizada en 800 viviendas, es decir la que corresponde a la energía destinada a una población de 5000 habitantes, aproximadamente (CFE, 1981). Estos datos justifican el impulso del uso de energía solar o eólica en este ramo. En aquellas industrias donde el consumo es continuo, la energía solar fotovoltaica ofrece mejores expectativas, por ejemplo, en la industria metalúrgica, para la obtención de cobre y aluminio. En la Universidad Central de Chile existen 44 paneles fotovoltaicos experimentales que proporcionan energía para la obtención de cobre.

– Centrales fotovoltaicas

Aunque hace algún tiempo era una idea poco realista, en la actualidad el uso de centrales fotovoltaicas adquiere mayor interés como generadora alternativa de energía, a partir del alto costo de las centrales hidroeléctricas, térmicas y nucleares y el tiempo de ejecución de las mismas. Las fotovoltaicas que podrían generar hasta 10 Mw, son una opción para la generación futura de energía eléctrica en México y la sustitución progresiva de las termoeléctricas. Las de baja potencia (100 a 500 kw) ya son frecuentes en el mundo (Mompin, 1986b). En

California, EUA existe una en funcionamiento y genera 1 Mw desde 1982; el tiempo de ejecución de la obra fue de seis meses (CFE, 1981). Desde 1986 existió un proyecto en los Estados Unidos de una central fotovoltaica que generaría 16 megavatios.

8. El uso, almacenamiento y trasvase de petróleo genera contaminación atmosférica por la liberación de diversos gases, principalmente bióxido de carbono, lo que representa el 62% de las emisiones totales al año en nuestro país, es decir 87 500 t de este gas al año (Macera, 1991). La sustitución gradual de este combustible (que en un futuro no muy lejano se agotará) por gas natural y energía solar fotovoltaica, es una buena medida para reducir la emisión de bióxido de carbono y otros gases.

#### *En la agricultura, conservación de bosques y selvas*

1. En la aplicación de medidas y la realización de estudios concernientes al cambio climático, es indispensable considerar a la agricultura como prioridad nacional.
2. Desarrollo de agricultura orgánica. Esto significa una agricultura orientada a una fertilización natural, con prácticas de cultivos rotativos (policultivos) y control pleno de la biomasa, entendiéndose esto último como el manejo adecuado de la fermentación de los residuos de materia orgánica (que sirven como fertilizantes naturales) de cada ciclo agrícola para el control de emisiones de gas metano; esto se logrará con la oxigenación adecuada (en tiempo y espacio) de los terrenos agrícolas (por ejemplo en la época de barbecho).
3. Desarrollo agrícola sustentable. Cuando una práctica agrícola no empobrece al medio ambiente ni a la población, se dice que es sustentable, para lo cual es necesario establecer políticas sobre:

- Precios justos y remunerables al agricultor para el producto de su trabajo.
- Acceso adecuado a los medios de producción.
- Utilización correcta y racional de la tierra y el agua (entregando sólo el agua necesaria a los cultivos, medida en volumen y con el pago del costo real de la misma).
- Del concepto anterior se deduce que, para el pago del precio real del agua podrían

establecerse políticas de remuneración (no necesariamente económicas) a usuarios eficientes y pago de impuestos a los dispendiosos. Estas políticas deberán estar acordes con la región y el nivel económico de su habitantes.

- Estandarización de los productos agrícolas en precios.
  - Eliminación de barreras comerciales e intermediarios.
4. Planes de riego con déficit hídrico.
  5. Desarrollo de nuevas variedades de cultivos, resistentes a las sequías y a mayores condiciones de salinidad.
  6. Forestación y conservación de bosques y selvas. La deforestación contribuye con el 35% de las emisiones totales de bióxido de carbono en México, es decir un promedio aproximado de 45 500 t por año (Macera, 1991). Esto hace necesario:

- Un plan nacional rector de forestación intensiva.
- Evitar en lo posible la ganadería de tipo extensivo, sobre todo en los límites de bosques tropicales y selvas.
- Evitar grandes asentamientos humanos en zonas boscosas y selvas y, en los que ya existan, establecer planes de desarrollo para integrar a la población al medio ambiente en que vive y evitar su degradación (Mundo, 1990).
- Mayor control sobre empresas nacionales a fin de evitar la sobreexplotación de madera y de recursos del suelo y subsuelo de bosques y selvas (Mundo, 1990).
- Limitación de proyectos que pongan en riesgo a la ecología.

#### *Programas de investigación científica*

1. Implementación de programas para el estudio de fuentes alternativas de energía, como la solar, la eólica y la nuclear de fusión.
2. Investigaciones que conduzcan a nuevas formas para reducir la emisión de contaminantes en la industria y estudios de difusión de los mismos en la atmósfera.
3. Experimentación con nuevas variedades de cultivos para una mejor adaptación y desarrollo en sequía, resistencia a plagas, salinidad y condiciones extremas.

4. Investigaciones sobre el comportamiento de nuevas condiciones de humedad, evapotranspiración y necesidades hídricas de los cultivos, especialmente en el norte de la República Mexicana, ante la posibilidad de cambio climático con diferentes escenarios.
5. Estudios sobre la factibilidad de desarrollo de nuevas plagas y enfermedades de cultivos.
6. Investigaciones sobre nuevos programas y planes de riego en condiciones de déficit hídrico.
7. Planes de adiestramiento y administración del agua.
8. Realizar análisis cuidadosos de la variación de la temperatura y precipitación en las últimas décadas, para establecer tendencias en el cambio climático a nivel regional.
9. Sistemas de advertencia sobre ciclones y sus efectos.
10. Continuar mejorando las herramientas de pronóstico y cálculo de tormentas tropicales e inundaciones e iniciar estudios de operación de sistemas de presas durante avenidas.
11. Intercambio de información con organismos internacionales que estudian el cambio climático.

## Conclusiones

Las observaciones de la Tierra muestran que ciertos gases, denominados de invernadero, han incrementado su proporción en la atmósfera.

Se acepta sin discusión que el bióxido de carbono ha aumentado en un 28%, el metano, 100%, el óxido nitroso, 9%, y los CFC hasta en 1300%. La hipótesis más aceptada conforme a la evidencia física es que el incremento de estos gases ha originado un calentamiento en la Tierra. Sin embargo, este calentamiento ha coincidido con el fenómeno de oscilación del sur denominado "El niño", cuyos efectos se han sentido con mayor intensidad (Lluch *et al.*, 1991) en 1982-1983, 1986-1987, 1991-?, lo que, aunado a la incertidumbre de los modelos de predicción climática (modelos de circulación general), no permite en la actualidad aseverar con certeza la causa del calentamiento de la Tierra. No obstante, como se ha reiterado en este artículo, los registros, en observaciones meteorológicas y los estudios climáticos con diferentes modelos en varias partes del mundo muestran una correlación entre el incremento de gases de efecto de invernadero y el calentamiento del planeta. Ante esta perspectiva, se plantean las siguientes interrogantes:

- ¿Por qué no iniciar desde ahora programas de prevención para disminuir los posibles efectos futuros de un posible cambio del clima?
- ¿Es necesario esperar que los modelos tengan una certeza del 100%, cuando se pueden tomar acciones de prevención, estudios e investigaciones, que den una perspectiva de cómo enfrentar o adaptarse mejor a un cambio climático, o por lo menos saber qué se puede esperar del futuro?
- Si no actuamos ahora ¿Las medidas de ajuste futuras serán suficientemente rápidas y adecuadas para enfrentar mejor el posible fenómeno de calentamiento?

De la adecuada planeación de las actividades humanas en el futuro dependerá nuestro bienestar y una mejor adaptación al cambiante medio que nos rodea.

Revisado: diciembre, 1992

## Referencias

- Asimov, Isaac. *Fotosíntesis*, Plaza y Janes México, México, 1987.
- Bruce, J. P. *La atmósfera de la Tierra, planeta viviente*, Organización Meteorológica Mundial, 1990.
- Gleick, P. "Regional Hydrologic Consequences of Increases in Atmospheric CO<sub>2</sub> and other Trace Gases", *Climate change*, núm. 10, 1987, pp. 137-161.
- Lluch, B. D., Hernández V. S., Salinas Z. C., Magallón B. F., Lachica B. F. "Variación climática y oceanográfica global: sus efectos en el noroeste mexicano", *Revista Ciencia y Desarrollo*, 1991.
- Macera C., Omar. "México y el cambio climático global: un balance crítico", *Revista Ciencia y Desarrollo*, 1991.
- Mompin Poblet, J. *Energía solar fotovoltaica*, Barcelona: Orbis, Marcombo, 1986a.
- Mompin Poblet, J. *La electrónica en la agricultura*, Barcelona: Orbis, Marcombo, 1986b.
- Mundo Molina, Martín D. *Estudio de integración y desarrollo de la zona Selva Lacandona-Marquez de Comillas, Municipio de Ocosingo Chiapas*, Primer Simposio Internacional sobre Manejo del Trópico Húmedo, 1990.
- Organización Meteorológica Mundial. *La OMM y el calentamiento global*. Publicación basada en el primer informe del Grupo de Trabajo I, Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (IPCC), 1990.
- Scheider, Stephen. *Salvemos la Tierra*, Aguilar, México, 1991.
- Torres, R. E. *Agrometeorología*, Diana, México, 1984.