

Cambio climático global: causas y consecuencias

Manuel Estrada Porrúa*

Cada vez resulta más evidente que las emisiones de gases de invernadero generadas por el hombre están afectando el clima del planeta. Durante el último siglo se registraron incrementos en la temperatura global que no son explicables en su totalidad por causas naturales, trayendo consigo cambios que van desde el aumento del nivel del mar

hasta alteraciones en el comportamiento de los animales, y se espera un mayor calentamiento y modificaciones aún más importantes en el futuro. La solución al problema y sus consecuencias deben involucrar a todos los países, tomando en cuenta sus diferentes condiciones y capacidades.



Gases de invernadero

La temperatura de un planeta está definida por su masa, la distancia con respecto al Sol y la composición de su atmósfera, que en el caso de la Tierra está compuesta por 78.0% de

nitrógeno, 21.0% de oxígeno y 1.0% de otros gases, entre ellos los de invernadero: vapor de agua, bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), principalmente. Éstos tienen la capacidad de retener parte de la radiación infrarroja

emitida por la superficie terrestre, manteniéndola así aún más caliente de lo que estaría en su ausencia, lo que ocasionaría que la temperatura media fuera de alrededor de -20 grados centígrados.¹

* Consultor en cambio climático. Tel. 01 (55) 52 64 60 94. Correo electrónico: manuele@prodigy.net.mx.

¹ UNEP-GRID ARENDAL. "Vital climate graphics", en: *Introduction to climate change: planets and atmospheres*. UNEP-GRID ARENDAL. www.climateark.org/vital/02.htm.

Cambio climático global

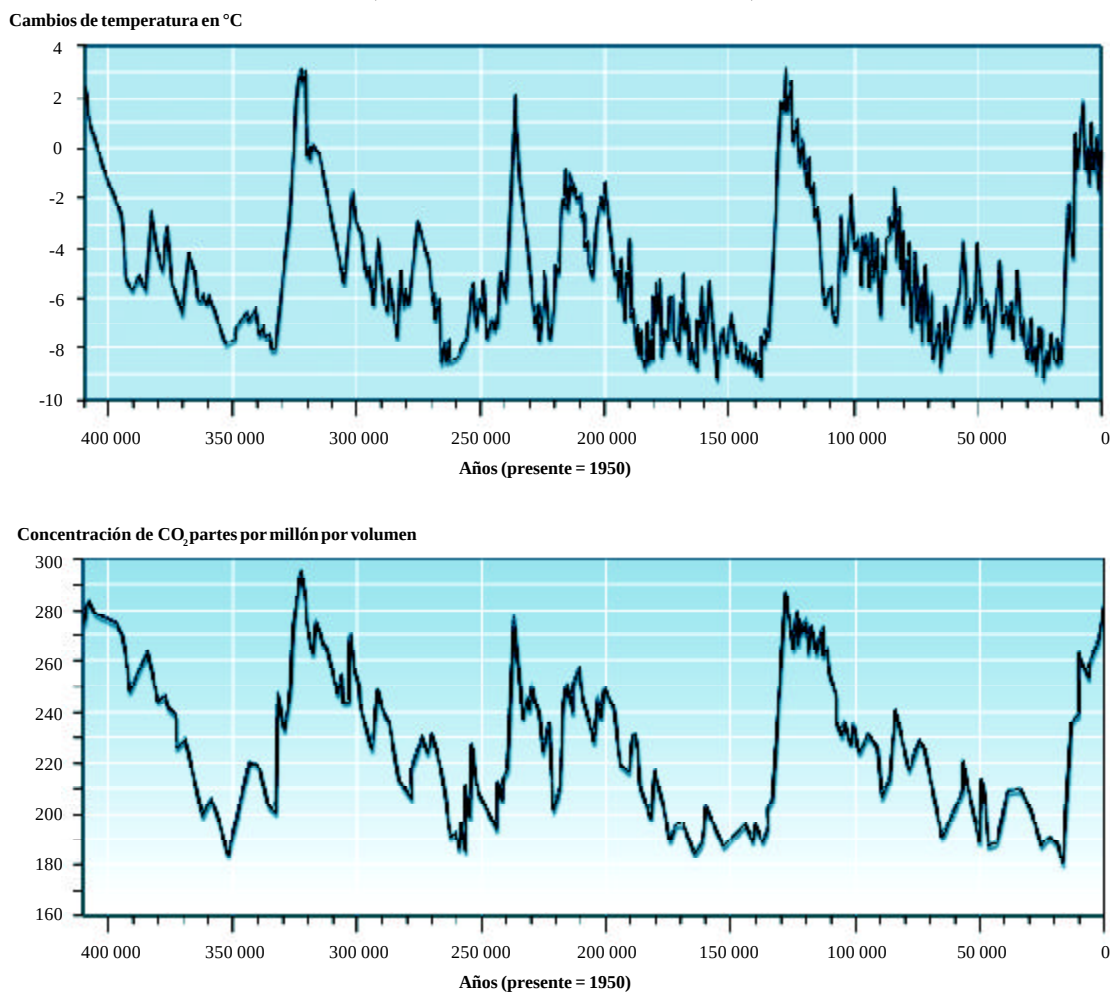
Durante los últimos 400 mil años, el clima de la Tierra ha sido inestable, con temperaturas oscilantes de un clima cálido a una edad de hielo en tan sólo unas décadas. Sin embargo, estas variaciones

han sido menos frecuentes de 10 mil años a la fecha. De acuerdo con la evidencia disponible, es poco probable que la temperatura media global haya variado más de 1° C en un siglo en el transcurso de este periodo.² Gracias a estudios realizados en núcleos de hielo,

se ha establecido una sólida correlación entre el contenido de CO₂ en la atmósfera y la temperatura terrestre; como se puede ver en la gráfica 1, altas concentraciones atmosféricas de este gas han coincidido con incrementos en la temperatura media global.

Gráfica 1

Temperatura y concentración del CO₂ en la atmosfera durante los últimos 400 000 años (Del núcleo de hielo de Vostok)



Fuentes: J.R. Petit, Jouzel, *et al.* Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core in Antarctica, *Nature* 399 (3 June), pp 429-436, 1999 y www.climateark.org/vital/graphics/large/2.jpg.

² UNEP-GRID ARENDAL. "Vital climate graphics", en: *Introduction to climate change: temperature and CO₂ concentration in the atmosphere over the past 400 000 years*. UNEP-GRID ARENDAL. www.climateark.org/vital/02.htm.

Según la información científica disponible³, de 1750 a la fecha la concentración de gases de invernadero en la atmósfera ha aumentado en su mayor parte como resultado de la actividad humana (quema de combustibles fósiles, como: carbón, petróleo y gas; deforestación y actividades agrícolas, etc.). La concentración atmosférica del bióxido de carbono se ha incrementado desde entonces en 31.0% (una tasa de incremento sin precedente en 20 mil años), siendo la más alta en los últimos 420 mil años, e incluso, probablemente de los últimos 2 millones de años. En el caso del metano, la concentración atmosférica ha crecido 151.0% en el mismo lapso, mientras

que la del óxido nitroso se ha incrementado en 17 por ciento.⁴

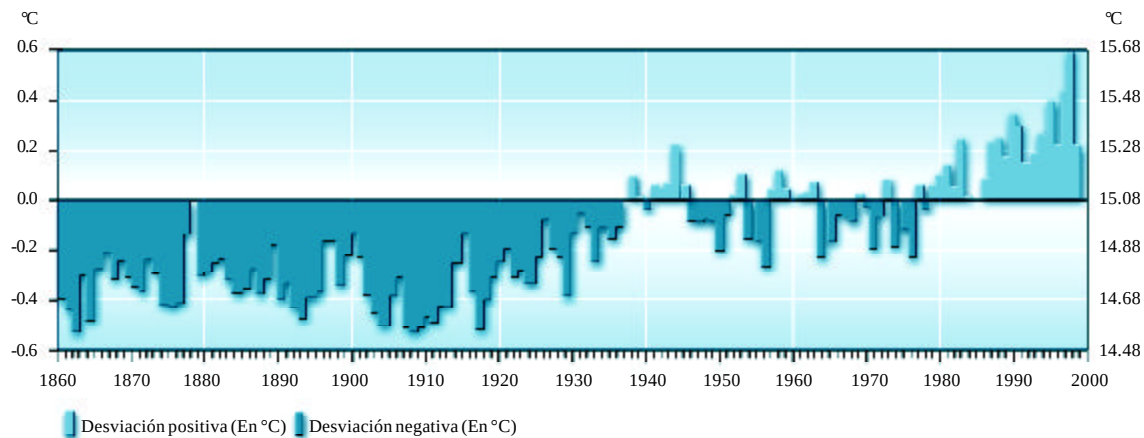
Asimismo, el promedio de la temperatura superficial global ha aumentado desde 1861. En el siglo XX, el incremento ha sido de entre 4 y 8° C, siendo las últimas dos décadas las más calientes. Asimismo, los 12 años con mayores temperaturas de esos 100 años han ocurrido desde 1983, siendo 1998 el más cálido desde que se tiene registro instrumental (1861) (gráfica 2). La temperatura superficial de la Tierra fue más alta durante el siglo XX que en cualquier otro de los últimos mil años.⁵

Existe, además, evidencia observacional de

que⁶ el nivel medio del mar está subiendo (de 1900 a 1999 aumentó entre 10 y 20 cm); los glaciares no polares se están reduciendo en todo el mundo; los hielos del Ártico están adelgazando en verano; en eventos de fuerte precipitación está cayendo una mayor proporción de la misma; la incidencia de sucesos climáticos extremos está aumentando en algunas partes del mundo; los episodios de El Niño han sido más frecuentes, persistentes e intensos desde mediados de la década de los años 70, comparados con los observados durante el siglo pasado; en algunas regiones, como en partes de Asia y África, se ha observado un incremento

Gráfica 2

Tendencias de la temperatura superficial global promedio



Fuentes: School of environmental sciences, climatic research unit, university of East Anglia, Norwich, United Kingdom, 1999 y www.climateark.org/vital/17.htm.

³ El Tercer informe de evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (2001), que presenta las conclusiones del análisis más objetivo, completo y cuidadoso de la información científica, técnica y económica más relevante, realizado por miles de expertos de todo el mundo.

⁴ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Third assessment report-climate change, 2001. The scientific basis: summary for policymakers. A report of working group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. UNEP-WMO, p. 7. www.ipcc.ch.

⁵ Watson Chair, Robert T. "Climate change 2001", en: *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Bonn, Alemania. At the resumed Sixth Conference of Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change, 19 de julio de 2001.

⁶ *Ibid.*

en la frecuencia e intensidad de las sequías durante las últimas décadas; algunos aspectos importantes del clima parecen no haber sufrido cambios, tal es el caso de la frecuencia e intensidad de las tormentas tropicales y el número de días con tormentas eléctricas o granizo.

De la misma forma, algunos cambios en los sistemas biológicos, como la aparición temprana de flores en árboles, la puesta de huevos de aves antes de lo usual, el alargamiento de la temporada de cultivo en el hemisferio norte, el cambio de rangos de distribución de insectos, plantas y animales hacia los polos y hacia mayores altitudes y la incidencia creciente de corales decolorados se han asociado a cambios regionales en el clima. Si bien dichos sistemas biológicos están sujetos a numerosas presiones que pueden alterar su comportamiento, debe notarse que los cambios observados son consistentes con respuestas biológicas al clima bien conocidas.⁷

La información disponible sugiere que la actividad humana está implicada en las modificaciones del clima y, en particular, en el calentamiento observado en los pasados 50 años⁸; de hecho, el aumento de temperatura

observado desde alrededor de 1970 no se puede explicar considerando sólo fenómenos naturales (por ejemplo, las alteraciones en la actividad solar y las exhalaciones volcánicas)⁹.

Las emisiones anuales promedio de CO₂ por quema de combustibles fósiles y cambios de uso de suelo en la década de los años 90 fueron de alrededor de 7 500 millones de toneladas de carbono (MtC), y se espera que para el 2100 sean de entre 5 mil y 35 mil MtC. Durante los últimos 20 años, la incorporación de CO₂ a la atmósfera se ha debido en 75.0% a la quema de combustibles fósiles, y el resto, prácticamente, a cambios de uso de suelo, en particular a la deforestación.¹⁰

Este rango de emisiones significaría que la concentración atmosférica de CO₂ actual, de 368 partes por millón por volumen (ppmv), pasaría a estar entre 540 y 970 ppmv para el 2100. Si se consideran ciertas incertidumbres, este rango de concentración podría oscilar entre 490 y 1 260 ppmv.¹¹ Al aumentar la cantidad de CO₂ en el aire, los océanos y los suelos absorberían cada vez menos emisiones antropogénicas de este gas, lo que incrementaría aún más la acumulación de las mismas en la atmósfera.¹²

Lo que se espera

Como consecuencia del incremento de los niveles de concentración atmosférica de CO₂ y otros gases de invernadero, se espera que la temperatura media superficial a nivel global aumente entre 1.4 y 5.8° C de 1990 al 2100. Dicho incremento en la temperatura no sólo es entre dos y 10 veces superior al observado en los últimos 100 años (0.6° C), sino que, además, no tiene precedente en los mil años anteriores y se pronostica que ocurrirá a un ritmo significativamente más rápido que los cambios observados en los últimos 10 mil años.¹³

Se espera que las modificaciones previstas en la temperatura varíen de manera regional, y que las latitudes mayores se calienten mucho más que el promedio global. Es probable, también, que en el futuro aumente la frecuencia del fenómeno de El Niño, ocasionando una mayor incidencia de inundaciones y sequías en gran cantidad de lugares de los trópicos y subtrópicos.

Por otra parte, la expansión térmica de los océanos y el decrecimiento de los glaciares podría hacer que el nivel del mar aumentara entre 8 y 88 cm en el

⁷ *Ibid.*

⁸ IPCC. *Op. cit.*, p. 10.

⁹ Watson Chair, Robert T. *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Presentation at the Sixth Conference of Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change, 13 de noviembre de 2000.

¹⁰ IPCC. *Op. cit.*, p. 7.

¹¹ Watson Chair, Robert T. "Climate Change 2001...", *op. cit.*

¹² IPCC. *Op. cit.*, p. 12.

¹³ Watson Chair, Robert T. "Climate Change 2001...", *op. cit.*

periodo de 1990 al 2100, trayendo consecuencias graves para países como Bangladesh y las pequeñas naciones insulares (figura 1).

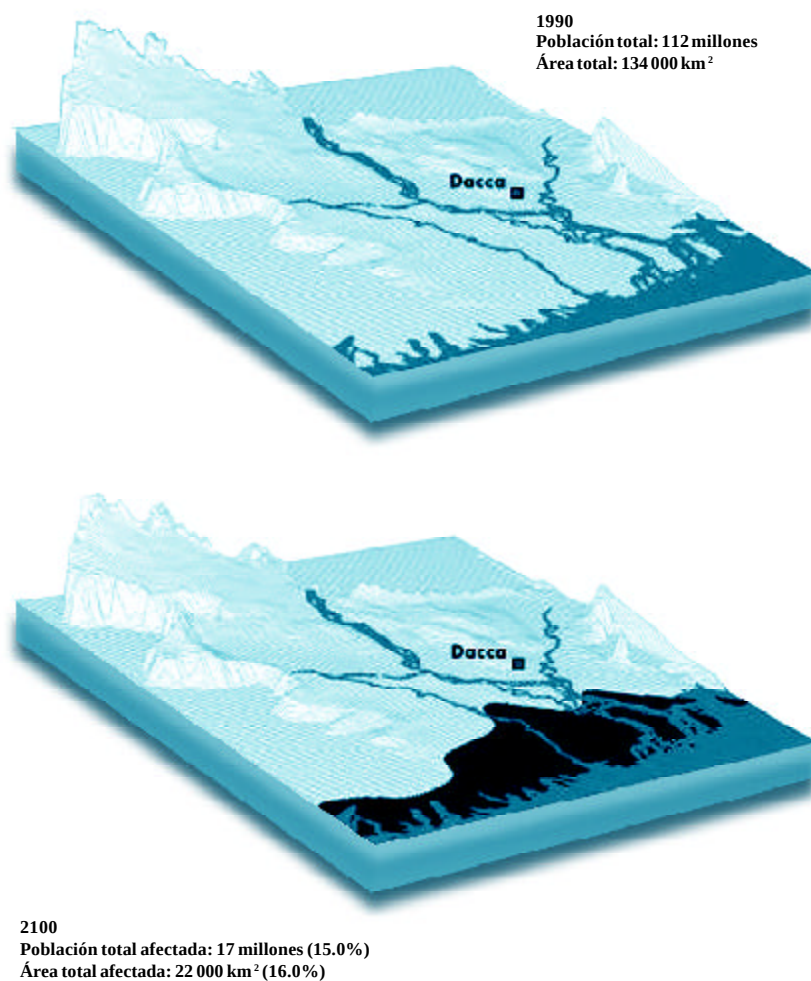
Al calentarse el clima, la evaporación podría incrementarse, y se podría ver un aumento en la precipitación media global y en la frecuencia de lluvias intensas. Sin embargo, mientras que algunas áreas podrían experimentar mayores precipitaciones, otras tendrían una reducción de las mismas. En general, se espera que las lluvias aumenten en altas latitudes tanto en verano como en invierno, que las latitudes medias (África tropical y la Antártica) tengan incrementos en invierno y que el sur y este de Asia los experimente en verano. Por su parte, Australia, América Central y el sur de África tendrían reducciones en la precipitación durante el invierno.¹⁴

De la misma forma, es de esperarse una mayor incidencia de algunos fenómenos climáticos extremos como episodios de temperaturas extremadamente altas, eventos de fuerte precipitación, déficits de humedad en los suelos, incrementos en la intensidad máxima de vientos y precipitación de ciclones tropicales, inundaciones, sequías e incendios, así como brotes de pestes en algunas regiones del mundo, aunque aún es incierto si la intensidad de las tormentas en latitudes medias aumentaría.¹⁵

Los sistemas de tipo socioeconómico (recursos

Figura 1

Impacto potencial del nivel del mar en Bangladesh 1990-2100



Fuentes: UNEP/GRID Geneve; University of Dacca; JRO Munich; The World Bank, World Resources Institute, Washington, D.C. y www.climateark.org/vital/33.htm.

hídricos, agricultura, silvicultura, pesca, asentamientos humanos, etc.), los ecosistemas terrestres y acuáticos y la salud humana son sensibles a la magnitud y el ritmo del cambio climático, así como a

las modificaciones en climas extremos y a la variabilidad climática. Los países en desarrollo serían los más afectados, debido a una serie de factores, entre los que destacan su reducido acceso

¹⁴ Ibid.

¹⁵ Ibid.



a tecnologías para adaptarse, recursos financieros e información, e incluso, su localización geográfica, pues muchos de ellos se encuentran en zonas áridas y semiáridas, susceptibles a experimentar aumentos en la frecuencia y magnitud de las sequías. Se espera que la productividad agrícola se reduzca hasta en 30.0% en África y América Latina durante este siglo, por lo que aumentaría el riesgo de hambruna en algunos lugares de los trópicos y subtropicales donde vive gran parte de la gente más pobre del mundo.¹⁶

Los cambios previstos podrían producir, además, un incremento en el número de personas en peligro de contraer malaria del orden de decenas de millones por año, principalmente en las zonas pobladas menos protegidas, en áreas templadas y en los trópicos y subtropicales. Podrían, también, presentarse

incrementos en enfermedades infecciosas como la salmonelosis, el cólera y otras relacionadas con el agua y los alimentos, en especial en regiones tropicales y subtropicales, debido a los efectos del clima en la distribución y temperatura del agua y sobre la proliferación de microorganismos. El aumento del nivel del mar podría, de igual manera, producir impactos negativos sobre los asentamientos humanos, el turismo, los suministros de agua dulce, la pesca, las infraestructuras expuestas, los suelos agrícolas y secos, así como los pantanos, causando pérdidas de tierras y económicas y el desplazamiento de millones de personas.¹⁷

Las emanaciones de gases de invernadero generadas por la actividad humana son responsables, al menos en parte, del cambio climático. Sin embargo, dentro de esta responsabilidad, compartida por toda la humanidad, cabe hacer una diferenciación de acuerdo con la contribución histórica en términos del volumen de emisión de estos gases.

Por su parte, los ecosistemas naturales podrían verse afectados de diversas formas: cambios en la composición y productividad de los sistemas ecológicos, pérdida de biodiversidad, alteraciones en la distribución de especies de bosques, decoloración y desaparición de arrecifes de coral, etcétera.

La vulnerabilidad de México

El riesgo de nuestro país a los efectos del cambio climático fue analizada en el marco del *Estudio de país*¹⁸, en el cual se menciona que la temperatura podría aumentar de 3 a 4° C en el noroeste, reduciéndose ligeramente hacia el sur-sureste, donde el incremento sería de poco más de 2 grados centígrados. La precipitación podría ser más intensa, o por el contrario, reducirse en toda la República –dependiendo del modelo de simulación usado–; pero en todo caso, las implicaciones de estas diferencias, en términos de la vulnerabilidad, serían negativas.¹⁹

Los estudios se hicieron suponiendo una concentración atmosférica de CO₂ del doble de la que existía antes de la Revolución Industrial (de unas 280 ppmv); como hemos visto, esta situación podría alcanzarse, e incluso, superarse en los

¹⁶ *Ibid.*

¹⁷ *Ibid.*

¹⁸ El *Estudio de país* se refiere a una serie de investigaciones, básicamente inventarios de emisiones, estudios de vulnerabilidad, escenarios de emisiones futuras de gases de invernadero y tecnologías de mitigación de emisiones de estos gases. En sí, no se publicó como un todo, aunque gran parte de sus resultados aparecen en la primera comunicación de México ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático (1997). Por lo mismo, no hay una referencia única para todo el estudio como publicación.

¹⁹ Magaña, Víctor, et. al. “Evaluación de escenarios regionales de clima actual y de cambio climático futuro para México”, en: *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*. Distrito Federal, México, SEMARNAP, UNAM, U.S. Country Studies Program, 1999, pp. 11-17.

próximos 100 años, por lo cual las predicciones del *Estudio de país* pudieran resultar optimistas para lo que se podría observar a finales del siglo. Con base en las proyecciones sobre temperatura y precipitación, la investigación analizó los efectos de estos cambios sobre diferentes áreas de interés para el país.

Los resultados mostraron que la producción de maíz de temporal en México se vería afectada de manera negativa, pues la proporción del territorio

nacional no apto para este cultivo –con base en los requerimientos óptimos de temperatura y precipitación– pasaría de 59.6% actual a 75.0 por ciento. Entre 8.4 y 22.0% sería moderadamente apta y sólo entre 2.5 y 15.9% sería apta.²⁰

El incremento en las áreas no aptas se debería en gran medida a la pérdida de superficie de aptitud media, mientras que la ganancia en superficies aptas en el centro del país sería causada por el aumento

de la temperatura mínima en tierras altas como Atlacomulco.

Los estudios enfocados a determinar las posibles alteraciones en los tipos de vegetación debido al cambio climático mostraron que 50.0% de la vegetación del país tendría modificaciones, siendo los ecosistemas forestales pertenecientes a los climas templados los más afectados. El cuadro 1 muestra los posibles cambios de cobertura vegetal obtenidos con tres modelos diferentes.²¹

Cuadro 1 Superficie (%) del país cubierta por cada tipo de clima y vegetación actualmente y en condiciones de cambio climático de acuerdo con los modelos de circulación general CCCM y GFDL					
Tipo de clima (Koppen, modificado por García)	Tipo de vegetación (Rzedowski)	Actual	Modelo de sensibilidad a/	Modelo CCCM	Modelo GFDL
Cálido húmedo	Bosque tropical perennifolio	5.86	6.40	6.67	7.85
Cálido subhúmedo 2	Bosque tropical subperennifolio	3.67	1.33	1.71	6.35
Cálido subhúmedo 1	Bosque tropical caducifolio y bosque tropical subperennifolio	17.70	20.12	20.20	22.80
Semicálido húmedo	Bosque mesófilo	2.10	0.26	0.54	1.30
Semicálido subhúmedo 2	Bosque tropical subperennifolio y bosque mesófilo	0.38	0.91	0.13	2.02
Semicálido subhúmedo 1	Bosque tropical caducifolio	6.58	4.62	5.02	5.97
Templado húmedo	Bosque de coníferas y quercus	0.56	0.28	0.28	0.28
Templado subhúmedo 2	Bosque de coníferas y quercus	2.67	1.32	1.31	2.12
Templado subhúmedo 1	Bosque de coníferas y quercus	3.13	2.31	2.06	1.52
Semifrío	Bosque de coníferas	2.31	0.00	0.00	0.00
Seco cálido	Bosque espinoso y matorral xerófilo	11.00	19.67	18.10	18.38
Seco semicálido	Matorral xerófilo y bosque espinoso	10.50	11.03	21.96	15.68
Seco templado	Pastizal y matorral xerófilo	11.60	3.97	12.49	10.86
Árido cálido	Matorral xerófilo	6.07	16.88	7.96	4.33
Árido semicálido	Matorral xerófilo	11.37	10.26	1.58	0.51
Árido templado	Pastizal	4.72	0.03	0.00	0.00

a/ Este modelo considera un aumento en la temperatura de 2° C y un decremento en la precipitación de 10.0 por ciento.

b/ El Modelo Canadian Climate Center (CCCM) y el Geophysical Fluids Dynamics Laboratory (GFDL) son modelos de circulación general que se han usado para estudiar el impacto del incremento en la concentración de gases de invernadero en la atmósfera. Éstos son los instrumentos más útiles de que se dispone en la actualidad para modelar el clima y el cambio climático.

Fuente: Villers Ruiz, Lourdes e Irma Trejo Vázquez. “El cambio climático y la vegetación en México”, en: *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*. SEMARNAP, UNAM, U.S. Country Studies Program, 1999. p. 69.

²⁰ Flores, Margarita, et. al.. “Vulnerabilidad de las zonas potencialmente aptas para maíz de temporal en México ante el cambio climático”, en: *México: una..., op. cit.* pp. 109-111.

²¹ Villers Ruiz, Lourdes e Irma Trejo Vázquez. “El cambio climático y la vegetación en México”, en: *México: una..., op. cit.* p. 69.

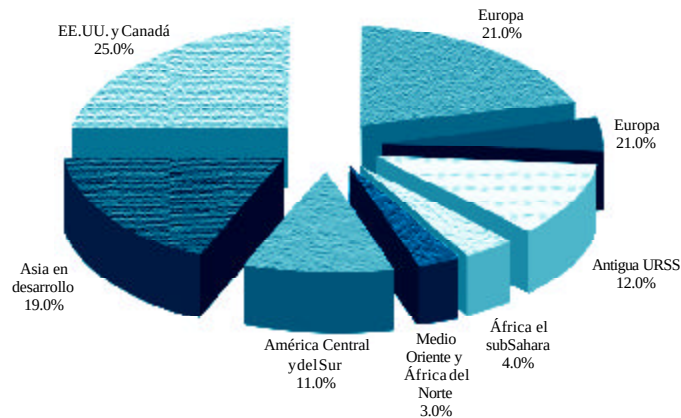
Asimismo, el análisis constató que el país resultaría muy vulnerable a la modificación climática considerando los procesos de desertificación y sequía meteorológica, en especial al norte y en las zonas más densamente pobladas.²² Los recursos hidrológicos más inermes serían los de la región central del país, así como los ubicados en la cuenca del Lerma-Chapala-Santiago.²³

El aumento del nivel del mar afectaría, principalmente, la región del Golfo de México, que integra ocho de los 10 puertos pesqueros y tres de los cinco puertos industriales más importantes del país. El Estudio identificó las zonas costeras con mayor vulnerabilidad en Tamaulipas (laguna deltaica del Río Bravo), Veracruz (Laguna de Alvarado, río Papaloapan), Tabasco (complejo deltaico Grijalva-Mezcapala-Usumacinta), Yucatán (Los Petenes) y Quintana Roo (bahía de Sian Kaán y Chetumal).²⁴

Las actividades productivas que dependen del agua como insumo se verían afectadas por el cambio al modificarse también la distribución y abundancia de ésta; además, las plataformas petroleras de la costa del Golfo podrían ser vulnerables al aumento del nivel del mar. El sector energético de

Gráfica 3

Contribuciones al cambio climático. Porcentaje de las emisiones globales de CO₂ acumuladas entre 1990 y 1999 por fuentes industriales y cambios de uso de suelo



Fuente: Baumert, Kevin A. y Nancy Kete. "The U.S., developing countries, and climate protection: leadership or stalemate?", en: Climate issue brief. Washington, D.C., EE.UU., World Resources Institute, 2001, p. 1.

la región centro del país destaca por su alta vulnerabilidad.²⁵

Los asentamientos humanos estarían muy expuestos en los estados con rápido crecimiento poblacional, gran consumo de agua y en los que se registran altos niveles de incidencia de enfermedades infecciosas, en particular en la región del norte (Tamaulipas y Chihuahua), en la zona del centro (Jalisco y México) y en el Golfo de México (Tabasco).²⁶

En resumen, de acuerdo con los análisis de vulnerabilidad

del *Estudio de país*, el cambio climático tendría serias consecuencias para México, exponiéndolo a cuantiosas pérdidas de toda índole.

Responsabilidad histórica y futura

Como hemos visto, las emanaciones de gases de invernadero generadas por la actividad humana son responsables, al menos en parte, del cambio climático. Sin embargo, dentro de esta responsabilidad, compartida por toda la humanidad, cabe hacer

²² Hernández Cerda, María Engracia, *et. al.* "Sequía meteorológica", en: *México: una..., op. cit.*, p. 37.

²³ Maderey R, Laura Elena y Arturo Jiménez R. "Los recursos hidrológicos del centro de México ante un cambio climático global", en: *México: una..., op. cit.*, pp. 58-60.

²⁴ Ortiz Pérez, Mario Arturo y Ana Patricia Méndez Linares. "Repercusiones por ascenso del nivel del mar en el litoral del Golfo de México", en: *México: una..., op. cit.*, p. 93.

²⁵ Sánchez Salazar, María Teresa y Maribel Martínez Galicia. "La vulnerabilidad de la industria y los sistemas energéticos ante el cambio climático global", en: *México: una..., op. cit.*, pp. 159 y 164.

²⁶ Guillermo Aguilar, Adrián. "Los asentamientos humanos y el cambio climático en México. Un escenario futuro de vulnerabilidad regional, México", en: *México: una..., op. cit.*, p. 171.

una diferenciación de acuerdo con la contribución histórica en términos del volumen de emisión de estos gases.

Durante los últimos 100 años, los países industrializados (que albergan a 20.0% de la población mundial) han sido responsables de alrededor de 63.0% de las emisiones netas de carbono por quema de combustibles fósiles y

modificaciones de uso de suelo. Estados Unidos de América y Canadá han contribuido con cerca de 25.0% del total, mientras que Europa ha producido, aproximadamente, 21.0% (gráfica 3). En contraste, unos 140 países en desarrollo han generado en conjunto apenas 37.0% de dichas emisiones.²⁷

De las 20 naciones con mayor producción de carbono por

quema de combustibles fósiles de 1900 a 1999, sólo cuatro son países en desarrollo, destacando China y la India, que aportan 7.0 y 2.0% de las emisiones totales del periodo, respectivamente, pero que a la vez representan 40.0% de la población mundial. En comparación, Estados Unidos de América, con una población ocho veces menor a la de estos dos países en conjunto, ocupa el primer lugar de la lista con 30.3%

Cuadro 2				
Mayores emisores de carbono por quema de combustibles fósiles Millones de toneladas de carbono (estimaciones)				
País/Región	1900-1999		1999	
	Emisiones totales	Porcentaje del total	Emisiones totales	Emisiones per cápita (tons.)
1. Estados Unidos	77 320	30.3%	1 520	5.6
2. Unión Europea a/	56 280	22.1%	915	2.4
3. Rusia	22 721	8.9%	400	2.7
4. Alemania	18 644	7.3%	230	2.8
5. China	17 786	7.0%	669	0.5
6. Reino Unido	14 336	5.6%	152	2.6
7. Japón	9 360	3.7%	307	2.4
8. Francia	7 241	2.8%	109	1.8
9. Ucrania	5 981	2.3%	104	2.1
10. Canadá	5 831	2.3%	151	4.9
11. Polonia	5 198	2.0%	85	2.2
12. India	5 098	2.0%	243	0.2
13. Italia	4 189	1.6%	121	2.1
14. Sudáfrica	3 153	1.2%	99	2.2
15. Australia	2 736	1.1%	94	5.0
16. República Checa	2 565	1.0%	29	2.8
17. México	2 529	1.0%	101	1.0
18. Bélgica	2 426	1.0%	38	3.7
19. Holanda	2 331	0.9%	64	4.1
20. España	2 288	0.9%	82	2.1
Mayores 20 emisores	211 733	83.1%	4 598	1.3
Resto del mundo	43 109	16.9%	1 544	0.6
Totales mundiales	254 842		6 142	1.0

a/ La Unión Europea debe descontarse del total por aparecer independientemente algunos de los países que la componen. Se muestra como conjunto y por separado cuando resulta apropiado.

Fuente: Baumert, Kevin A. y Nancy Kete. *Op. cit.*, p. 2.

²⁷ Baumert, Kevin A. y Nancy Kete. *Op. cit.* p. 1.

de dichas emisiones. Si bien México se encuentra en esta lista, su contribución lo pone en el lugar 17, con apenas 1.0% del total (cuadro 2).²⁸

Como se puede observar, los países del cuadro 2 son ricos (desarrollados), con muchos habitantes (en desarrollo) o ambos. Sin embargo, aunque las emisiones totales de estos grupos pueden ser comparables, las condiciones en las que se generan suelen no serlo: mientras que en una nación en desarrollo éstas son de *supervivencia*, al cubrir las necesidades básicas de una gran población, una desarrollada con mucho menos habitantes puede generar una cantidad mayor al elaborar bienes y servicios para mantener altos niveles de confort. Para ilustrar esto, basta comparar las emanaciones de CO₂ e ingreso per cápita de un chino (0.5 toneladas de carbono al año por habitante –tonC/año/hab– y

3 105 dólares de ingreso per cápita) o un hindú (0.2 tonC/año/hab y 2 077 dólares) con las de un estadounidense (5.6 tonC/año/hab y 29 605 dólares).²⁹

Otro factor de desequilibrio es la disponibilidad de combustibles, tecnologías eficientes y conocimientos, pues producir el mismo bien o servicio puede significar volúmenes de emisión muy diferentes al variar estos aspectos.

Con base en los pronósticos de crecimiento económico regional y la demanda de energía, se espera que las emisiones de carbono de las dos primeras décadas de este siglo aumenten a una tasa promedio anual de 2.1%, más del doble de la que se registró de 1990 a 1997. Del incremento de las emisiones globales de carbono, se prevé que 70.0% se deba a países en desarrollo: tan sólo las

proyectadas para China podrían constituir 33.0 por ciento. Por su parte, las del mundo industrializado representarían 23.0% y los países de Europa del este y de la antigua Unión Soviética contribuirían con el restante 7.0 por ciento.³⁰

Se espera que para el 2020 las naciones en desarrollo sobrepasen a las desarrolladas tanto en demanda de energía como en emisiones de carbono, dados los pronósticos de rápido crecimiento demográfico, aumento del ingreso per cápita, mejores estándares de vida y mayor industrialización. Se prevé que para el 2015 las emisiones de carbono de los países en desarrollo estén por el orden de 46.0% del total global y cerca de 49.0% en el 2020, comparadas con 42.0 y 39.0% que podrían representar las de los países desarrollados, respectivamente. Sin embargo, en términos de emisiones por persona, se espera que las de las naciones industrializadas se mantengan muy superiores a las de la mayoría de los países en desarrollo. Sólo las emisiones per cápita de Corea del Sur, previstas en 3.6 tC/persona para el 2020, podrían competir con las de los desarrollados.³¹

La estabilización de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero requerirá reducciones de emisiones en todas las regiones; las naciones desarrolladas no



²⁸ *Ibid.*, p. 2.

²⁹ Las emisiones son para 1999 y el ingreso está expresado en paridad de poder de compra (purchasing power parity, PPP) para 1998. *Ibid.*, p. 3.

³⁰ *Environmental issues and world energy use*. www.eia.doe.gov/oiaf/archive/ieo00/environmental.html.

³¹ *Ibid.*



podrán lograrla por sí mismas. Cuanto menor sea el nivel de estabilización que se quiera alcanzar o cuanto mayores sean las concentraciones en el escenario base, más tempranas y pronunciadas deberán ser las reducciones.

Un punto esencial para combatir el cambio climático de forma efectiva y equitativa será reconocer que la mayor parte de las emanaciones de gases de invernadero ha sido producida por las naciones desarrolladas, y que a pesar de que en algunas décadas las emisiones anuales de los países en desarrollo podrían superar a las de los desarrollados, a lo largo del siglo las emisiones per cápita de la gran mayoría de los primeros probablemente seguirán siendo inferiores; además, se debe considerar que la contribución prevista de éstos al calentamiento global, difícilmente igualará a los desarrollados hasta finales del siglo XXI, dado que el sistema climático responde a los

gases de invernadero acumulados y no a la producción anual.³²

De acuerdo con estimaciones del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, el costo para las naciones desarrolladas de cumplir 5.2% de reducción de emisiones de gases de invernadero para el 2012 con respecto a 1990 señalado por el Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, podría oscilar entre 0.2 y 2.0% de su producto interno bruto (PIB) y 0.1 y 1.0% del mismo si se estableciera un mercado de emisiones entre estos países. Este costo podría disminuirse aún más si se tomaran en consideración otros medios para bajar emanaciones de manera costo-efectiva (utilizar bosques y otros sumideros para absorber carbono, instrumentar proyectos de reducción conjuntos entre países desarrollados, con economías en transición y en desarrollo).

Cabe mencionar que, aunque el nivel de reducción de emisiones requerido por el Protocolo de Kioto está muy lejos de resolver el problema del cambio climático, representa un primer paso imprescindible para lograrlo. Además, en la práctica, cumplir con esta meta implica un esfuerzo mucho mayor al que se puede pensar inicialmente, pues la mayoría de los países desarrollados ha aumentado de manera considerable la generación de gases de invernadero desde 1990.³³

Conclusión

El cambio climático puede implicar una seria amenaza para el ser humano y para los ecosistemas. Combatirlo y remediar sus efectos podría representar costos muy altos desde el punto de vista económico, e invaluableles desde el punto de vista de salud, pérdida de especies, culturas, territorios, etcétera. La solución debe conformarse con base en un esfuerzo global, pero considerando las capacidades y responsabilidad histórica de cada país. Idealmente, las naciones desarrolladas deberían asumir el liderazgo en la mitigación de emisiones y apoyar a las menos desarrolladas –que son más vulnerables para proteger a sus generaciones futuras y cuidarse de los efectos del cambio climático–, si no obligados por un compromiso legal, movidos, al menos, por consideraciones éticas.

³² Watson, Robert T..., *op. cit.*

³³ *Ibid.*